

SUPPLEMENTO  
AL VOLUME I, SERIE X, DEL  
**NUOVO CIMENTO**  
A CURA DELLA SOCIETÀ ITALIANA DI FISICA

1955

N. 4

**RASSEGNE DI LAVORI DI FISICA**  
PUBBLICATI NEGLI ULTIMI ANNI IN EUROPA ORIENTALE  
E PARTICOLARMENTE IN RUSSIA

**RAPPORTS SUR LES TRAVAUX DE PHYSIQUE**  
PUBLIÉS PENDANT CES DERNIÈRES ANNÉES  
EN EUROPE ORIENTALE  
ET PARTICULIÈREMENT EN RUSSIE

**REVIEWS OF WORKS ON PHYSICS**  
PUBLISHED DURING THE LAST YEARS  
IN EASTERN EUROPE  
AND PARTICULARLY IN RUSSIA

**PRESENTAZIONE**

DI

**P. CALDIROLA**

*Uno dei Vicedirettori del Nuovo Cimento*

Il buon successo ottenuto dalla prima serie di *Rassegne di lavori di Fisica pubblicati negli ultimi anni in Europa orientale e particolarmente in Russia* (vedi il N. 4 del *Supplemento* al Vol. X, Serie IX, 1953, del *Nuovo Cimento*), ha rafforzato nei promotori dell'iniziativa la convinzione dell'utilità che siffatte rassegne hanno per i molti studiosi che, per una ragione o per un'altra, non possono accedere direttamente ai testi originali. E pertanto il Comitato per le pubblicazioni della Unione Internazionale di Fisica Pura ed Applicata volle affidare nuovamente al *Nuovo Cimento* la pubblicazione di una seconda serie di rassegne: che è appunto questa che qui viene ora presentata.

Anche in questa non facile attività del *Nuovo Cimento*, il prof. POLVANI, Presidente della Società Italiana di Fisica e Direttore del giornale stesso, ha saputo con molto tatto creare quell'atmosfera di sincera e cordiale collaborazione internazionale che solo la profonda convinzione del carattere universale della Scienza può dare. A questo proposito ci piace segnalare come,

alla collaborazione di illustri scienziati residenti nei paesi dell'Europa occidentale e degli Stati Uniti d'America, si sia quest'anno aggiunta quella spontanea, e particolarmente gradita, di un eminente fisico residente nell'Europa orientale, il prof. JÁNOSSY, Direttore dell'Istituto centrale di Ricerche di Fisica di Budapest, il quale ha scritto una delle due rassegne dei lavori eseguiti in Ungheria, inserite in questo fascicolo.

Inoltre, sempre grazie all'opera del prov. POLVANI, è stato possibile quest'anno stabilire i primi contatti con l'Accademia delle Scienze dell'URSS: la Direzione del giornale confida molto di poter ottenere la collaborazione diretta, molto desiderata, degli stessi scienziati sovietici.

Nel concludere queste brevi parole di presentazione, desidero, anche a nome della Direzione, esprimere, agli autori delle rassegne qui contenute, il ringraziamento più vivo per la collaborazione che essi hanno dato, e alla signorina dott. LUISA BASILICO porgere una particolare espressione di lode e di gratitudine per la cura e l'entusiasmo posti in tutto il lavoro da lei svolto, non facile davvero, di raccolta delle rassegne e di preparazione di questo fascicolo.

Al quale auguriamo vivamente di ottenere quella medesima favorevole accoglienza che ebbe il precedente. Sarà essa il miglior compenso a tutti coloro che hanno partecipato alla comune fatica, animati, come la Direzione, dalla speranza di contribuire a rinforzare e a stabilire una feconda collaborazione e una cordiale comprensione fra tutti i cultori della nostra Scienza: ovunque nel mondo essi risiedano.

## INDICE DELLE RASSEGNE

L. JÁNOSSY — Survey of Researches in Physics in Hungary (I) . . . . .	pag. 247
V. KOURGANOFF — Sur les observations révélant des processus de désintégration nucléaire dans certains astres . . . . .	» 273
B. S. LEMENT — Review of Recent Papers on Martensitic Transformations published in the U.R.S.S. . . . .	» 295
A. STOYKO — Travaux soviétiques sur le service de l'heure. . . . .	» 323
N. STOYKO — Rapport succinct sur les travaux russes d'Astronomie fondamentale . . . . .	» 347
J. G. VALATIN — Foreign Language Publications in Physics of the Hungarian Academy of Science . . . . .	» 375

N. B. — Come nel primo fascicolo delle *Rassegne* — N. 4 del *Supplemento* al Vol. X, Serie IX, 1953, del *Nuovo Cimento*, — sono state seguite, nella traslitterazione delle parole scritte, nei testi originali, con caratteri cirillici, le norme fissate dalla « Raccomandazione N. 6 » (del 7 Gennaio 1953) dell'International Standard Organisation (I.S.O.): esse, già riportate a pag. 539 del predetto fascicolo, qui vengono tuttavia ripubblicate a pag. 387 per comodità del lettore.



## Survey of Researches in Physics in Hungary (I).

L. JÁNOSSY

*Central Research Institute of Physics - Budapest, Hungary*

(ricevuto il 29 Dicembre 1954)

### CONTENTS

1. Introduction. — 2. Ferromagnetic Researches. — 3. Investigation of magnetic moments of atomic nuclei. — 4. Cosmic Ray Work. 1. Investigation on the efficiency of Geiger-Müller counters. 2. Investigation of extensive showers. — 5. Investigations on the properties of photons. 6. Nuclear Theory. — 7. The problem of the force on polarized media in classical electrodynamics.

### 1. — Introduction.

In the present article I am giving a number of short accounts of some research work carried out in Hungary. The account is by no means complete and I have omitted in particular the subjects, I am informed Mr. VALATIN is dealing with in the same periodical. (\*)

Most researches referred to here are being carried on in the Central Research Institute for Physics of the Hungarian Academy of Sciences, which was founded in 1950, and has just reached the point, where independent research work can be carried on.

### 2. — Ferromagnetic Researches.

LÉNÁRD PÁL

The analysis of magnetization curves of ferromagnetic monocrystals shows great differences between curves taken in different directions in relation to the crystallographic axes. The anisotropy of these curves leads one to conclude

(\*) See this issue, pag. 375.

that the magnetic part of the free energy of ferromagnetic crystals consists of an isotropic and an anisotropic part.

The magnetic anisotropy can easily be determined phenomenologically on the basis of the symmetry relations of ferromagnetic monocrystals. For ferromagnetic materials for instance crystallizing in a hexagonal system the magnetically anisotropic part of the density of the free energy is given by

$$F = K_1 \sin^2 \theta + K_2 \sin^4 \theta + \dots,$$

where  $\theta$  is the angle between the hexagonal axis and the magnetic intensity,  $K_1$  and  $K_2$  are the so-called anisotropy constants. The phenomenological theory can give no information regarding these anisotropy constants. Thus it seemed important to derive, on the basis of the modern theory of ferromagnetism, relations for the order of magnitude of the anisotropy constants and for their temperature dependence, and to check these relations experimentally [1]. It is well known that the magnetic anisotropy is brought about by the spin-spin and spin-orbit magnetic interactions. It can be shown, that these interactions can be represented by certain tensor-like forces, which eliminate the directional degeneration. The calculations can be carried out with adequate strictness near the so-called quasi-saturated state. This state is characterized by the fact that the number of spin-magnetic moments whose projections in the direction of the applied field are opposite to this field, amounts to hardly a few per cent. Those spin moments having projections opposite to the direction of the applied field are not localized, but move continuously inside the crystal space lattice. We imagine certain fictitious particles corresponding to these movements and call them ferromagnons. Near the quasi-saturated state we can disregard the «interaction» between the ferromagnons and thus the problem can be solved relatively easily.

We found that the order of magnitude of the anisotropy constants is closely connected with the crystal symmetry, their temperature dependence, however, near the quasi-saturated state can be expressed by a universal law.

The anisotropy constants can also change their signs with varying temperature. This change of sign can be formally explained by our theory, it is, however, desirable to study the mechanism of the effect in more detail.

As a control of our theoretical investigations we carried out experiments on the temperature dependence of the energy anisotropy constants of certain metals and alloys (Co, Co-Ni, Ni-Ta, Co-Cu, Co-Mn) [2]. As the making of monocrystals is often hopeless in the case of the alloys mentioned, we worked out a method [3] enabling us to read off the anisotropy constants from the shape of the magnetizing curves near technical saturation, our method being more exact than those described in the literature. The control measurements showed good agreement between the values of the anisotropy constants obtained for monocrystals and those got by application of our method described above.



In view of the extraordinary sensitiveness of the anisotropy constants (and thus of the differential susceptibility measured in strong magnetic fields as well) to a change in the crystal symmetry, we worked out a new method for the investigation into phase changes of ferromagnetic metals.

We intend to carry out measurements on monocrystals made by us, similar to those carried out on polycrystalline materials.

#### REFERENCES

- [1] L. PÁL: *Acta Phys. Hung.*, **3**, 287 (1954).
- [2] L. PÁL: *Thesis*, State University, Moscow, 1953 (in Russian).
- [3] L. PÁL: *Vest. MGU* [*Vestnik Moskovskogo Gosudarstvennogo Universiteta (Communication of the State University, Moscow)*], in the press (in Russian).

### 3. -- Investigation of magnetic moments of atomic nuclei.

P. S. FARAGÓ

Investigations of nuclear magnetic moments with the resonance method were carried out by FARAGÓ and his co-workers. In the usual way the sample is placed into a constant magnetic field and a radio-frequency field with its magnetic vector perpendicular to the constant field is applied. In case of resonance between the Larmor frequency of the atomic nuclei and the radio-frequency field the reaction of nuclear magnets on the exciting coil is felt and recorded. It can be easily shown [1] that, if the r-f. field is produced by the coil of the resonant circuit of a feedback oscillator, the variation of amplitude of the oscillation must be expected to be proportional to the imaginary component of the nuclear susceptibility of the sample. The latter was in fact experimentally shown to be correct using samples of solution of paramagnetic salts in different concentrations. Furthermore, the magnetic resonance can also be detected by introducing a separate detecting coil which gives a signal whenever resonance takes place. The shape of such signals was investigated.

A magnet was constructed having circular polepieces of 27 cm diameter and an air gap of 5 cm. Oil-cooled coils are used and excited by the current of a high voltage power supply. The maximum field obtainable is above 7000 gauss. Homogeneity was increased by applying shims. At 2500 gauss the field distribution was determined by measuring the proton resonance frequency with the above method and the half-width of the signal at various points within the gap; if the field is not homogeneous over the space occupied by

the sample, then a broadening of the width of the actual signal results. The width of the signal actually observed was incompatible with an inhomogeneity exceeding 0.05 gauss along 1 cm. Thus in the centre within an area of about 50 cm<sup>2</sup> the inhomogeneity could not exceed 0.02 ‰ per cm.

The magnetic field is stabilized directly with help of the resonance frequency of the proton; the procedure is similar to that used by PACKARD. A sample containing protons is brought into the field and the frequency is adjusted to such a value that resonance takes place at the field strength which is to be stabilized. If the intensity of the magnetic field changes, an error signal results which, through a suitable automatic mechanism, regulates a current until the original magnetic field is re-established [2].

The error-signal generator in itself has proved to be an excellent tool for the precise mapping out of a magnetic field. According to the tests performed on the components of the system, a stabilization factor of about  $3 \cdot 10^4$  is expected.

An arrangement very similar to that described by PROCTOR [3] was used to investigate the shape of the response signals caused by the magnetic resonance. The theory of the signals is rather laborious and the most general solution of the differential equation describing the shape of the signal is not known. A solution using certain approximations was given by SALPETER [4]. The solution contains five parameters, and according to the values of the parameters eight types of solutions for the resonance signals can be distinguished. The relevant parameters are: the Larmor-frequency corresponding to the intensity of the exciting radio-frequency magnetic field, the modulation frequency of the constant magnetic field, the time taken to pass through resonance, the spin-lattice relaxation time  $T_1$  and the spin-spin relaxation time  $T_2$ . The first three of the above parameters could be varied with the amplitude of the radio-frequency field and the frequency and amplitude of the modulating field respectively. Studying the resonance signals of protons in water, the relaxation times were varied by dissolving FeCl<sub>3</sub> in various concentrations. For such solutions  $T_1 = 2 \cdot T_2$ , thus only one of them had to be measured. The relaxation times for the probes investigated varied in the range of  $0.1\text{--}5 \cdot 10^{-5}$  s. Of the eight cases treated by SALPETER five could be realized, as shown in Fig. 1. The similarity between the oscillograms and the curves obtained theoretically is striking. We also measured the signal amplitudes quantitatively, with an uncertainty of about 5%. Within the limits of this error, our results agree with the theoretical ones. Some discrepancy was found in the last case of Fig. 1, this is discussed in a more detailed paper [5].

The fact that we could experimentally reproduce the type of curve predicted by SALPETER supports the theory and thus renders it possible to use the theory for evaluating results obtained with samples of unknown properties.

As a preliminary experiment we measured with our apparatus the



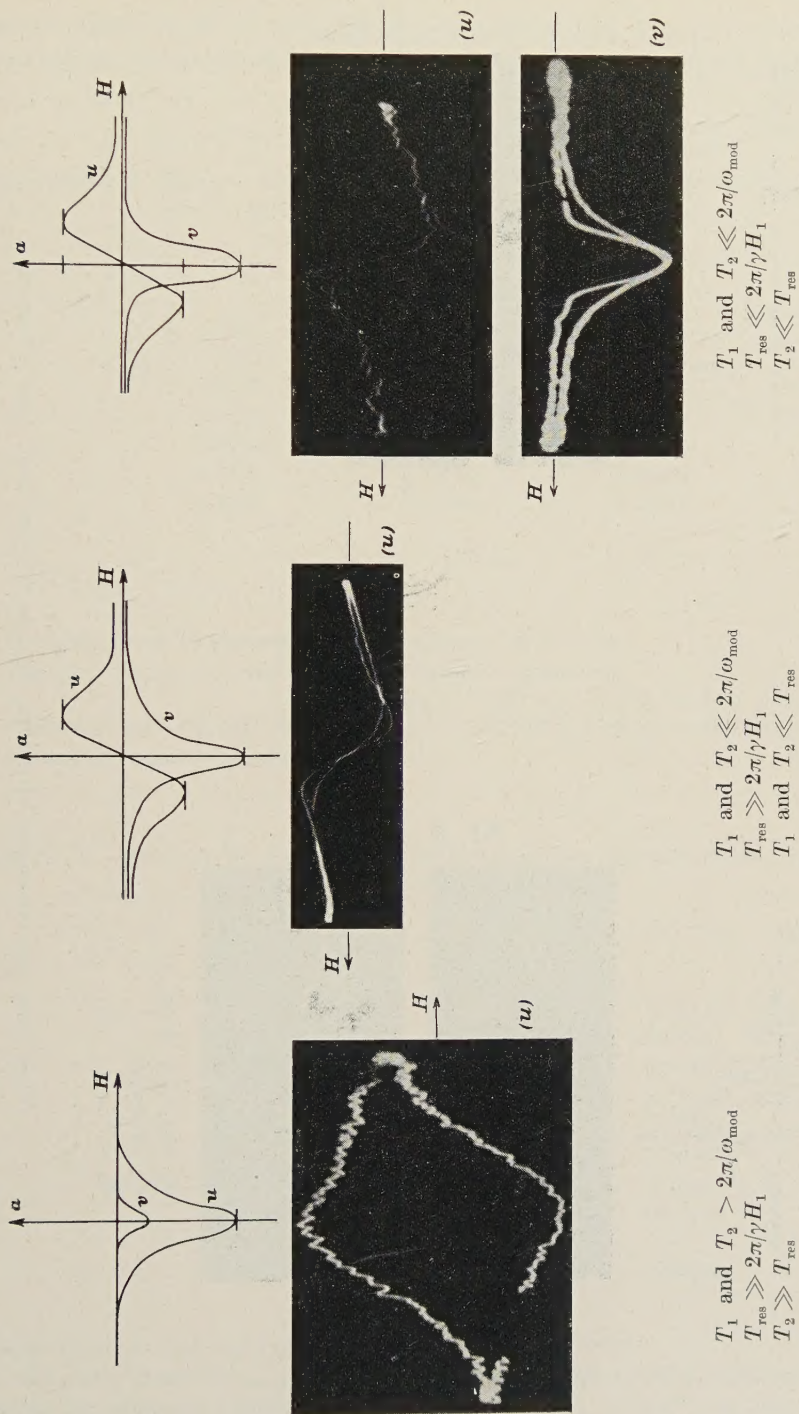
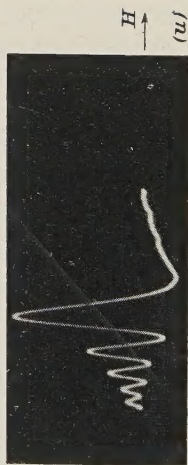
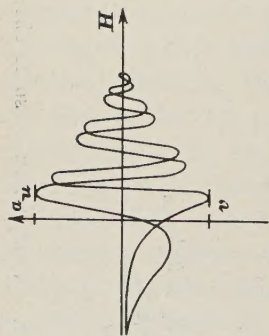
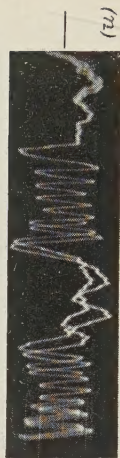
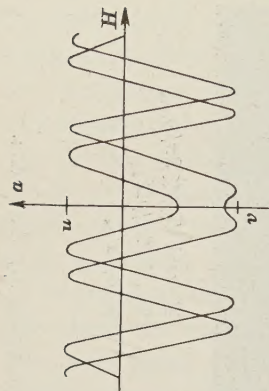


Fig. 1. - Comparison of some observed signal-forms with theoretical curves obtained by SALPETER.

Fig. 1 (continued).



$$\begin{aligned} T_1 \text{ and } T_2 &\ll 2\pi/\omega_{\text{mod}} \\ T_{\text{res}} &\ll 2\pi/\gamma H_1 \\ T_2 &\gg T_{\text{res}} \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} T_1 \text{ (and } T_2) &\gg 2\pi/\omega_{\text{mod}} \\ T_{\text{res}} &\ll 2\pi/\gamma H_1 \\ T_2 &\gg T_{\text{res}}; T_2 > \pi/\omega_{\text{mod}} \end{aligned}$$

(Time base has saw-tooth waveform,  $H$ -scale is linear only near resonance).



magnetic moments of  $^{19}\text{F}$ ,  $^{23}\text{Na}$ ,  $^{31}\text{P}$  in watery solutions. The values obtained for the magnetic moments of Na and P are collected in the Tables below.

TABLE I.

*Measurements of magnetic moments.  $^{31}\text{P}$  in  $\text{H}_3\text{PO}_4$  (almost saturated solution in water).*

$\nu_{\text{P}}$	$\nu_{\text{proton}}$	$\gamma_{\text{P}}/\gamma_{\text{proton}}$
3.3393	8.2508	0.40472
3.3393	8.2505	0.40474
3.2706	8.0809	0.40473
3.2707	8.0809	0.40474
3.2065	7.9221	0.40475
3.2065	7.9218	0.40477
3.0640	7.5706	0.40472
Mean:		0.40474

Probable error in frequency measurements:  $\Delta\nu/\nu \sim 10^{-4}$ .

Taking for  $\mu_{\text{proton}}$  in water: 2,79248 nuclear magneton,

$$\mu_{\text{P}} = 1.13023 \pm 0.02\% \text{ nuclear magneton.}$$

Corrected for magnetic shielding:  $\mu_{\text{P}} = 1.13126 \pm 0.02\% \text{ nuclear magneton.}$

(Accepted value:  $1.13165 \pm 20$ .)

TABLE II. -  $^{23}\text{Na}$  in (a)  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  and (b)  $\text{NaCl}$  (almost saturated solution in water).

	$\nu_{\text{Na}}$	$\nu_{\text{proton}}$	$\gamma_{\text{Na}}/\gamma_{\text{proton}}$
(a)	2.4175	9.1423	0.26443
	2.4173	9.1422	0.26441
	2.4171	9.1420	0.26440
	2.4173	9.1417	0.26443
	2.0488	7.7465	0.26448
	2.0489	7.7444	0.26457
(b)	2.4176	9.1420	0.26445
	2.4175	9.1420	0.26444
Mean:			0.26444

Probable error in frequency measurements:  $\Delta\nu/\nu \sim 10^{-4}$ .

With the same value for  $\mu_{\text{proton}}$  as above:  $\mu_{\text{Na}} = 2.21532 \pm 0.02\% \text{ nuclear magneton.}$

Corrected for magnetic shielding:  $\mu_{\text{Na}} = 2.2165 \pm 0.02\% \text{ nuclear magneton.}$

(Accepted value:  $2.21711 \pm 25$ .)

The values are in fairly good agreement with those found in the literature, provided the magnetic shielding corrections of RAMSAY [6] are applied. The discrepancy between our results and those given in the literature is of the order of  $10^{-4}$ , it may be mainly caused by the insufficient precision of the frequency measurement.

To avoid the difficulty of extremely precise measurement of absolute frequency, a special method (using twin-T circuits) is being developed in which the resonance frequency of a nucleus of known gyromagnetic ratio (say proton) serves as such a relative standard frequency that fluctuations due to technical reasons do not affect at all the determination of the frequency ratio wanted. More measurements are in progress and a detailed description of the method and results are in preparation.

## REFERENCES

- [1] P. S. FARAGÓ, M. GÉCS and J. MERTZ: *Acta Phys. Hung.*, **3**, 329 (1954).
- [2] M. GÉCS, M. HORVÁTH and J. MERTZ: *KFKI Közl. [Központi Fizikai Kutató Intézetek Közlemények (Bulletin of the Central Research Institute of Physics, Budapest)]*, (in Hungarian), **2**, 91 (1954).
- [3] W. G. PROCTOR: *Phys. Rev.*, **79**, 35 (1950).
- [4] E. E. SALPETER: *Proc. Phys. Soc.*, (A) **63**, 337 (1950).
- [5] M. HORVÁTH: *KFKI Közl.* (in Hungarian), **2**, 513 (1954).
- [6] N. F. RAMSEY: *Nuclear Moments* (New York, 1953).

## 4. – Cosmic Ray Work.

L. JÁNOSSY

### 4.1. – Investigation on the efficiency of Geiger-Müller counters.

For all cosmic ray experiments it is important to use counters of very high efficiency. This efficiency is important in anticoincidence experiments, where the background count is directly proportional to the inefficiency of the counters. Further, in other counter experiments the efficiency is of importance as fluctuations of the efficiency of any coincidence arrangement can be reduced considerably if it is ascertained that the counters respond with a probability near 100 per cent.

For these reasons JÁNOSSY and ROCHESTER [1] and later many others have investigated the inefficiency of counters with anticoincidence methods. An arrangement similar to that of JÁNOSSY and ROCHESTER but somewhat improved was employed by JÁNOSSY and KISS [2]. With this arrangement counter



efficiencies were measured and were found to be around 99.3 per cent. JÁNOSSY and KISS investigated further the dependence of the efficiency of a counter on the voltage applied to the counter. In this way a characteristic of the inefficiency of the counter is obtained. The inefficiency shows a minimum for counters used at about 150 V over starting potential, the inefficiency at the minimum of the curve being about 0,7 per cent. For most counters there is an interval exceeding 100 V in which the change in efficiency is so small that it can be neglected. Counters used at the voltage in the middle of this region can thus be regarded as satisfactorily stable. In all our investigations we used metal alcohol-argon counters described in detail by SOMOGYI [3].

The question arises as to the cause of the 0,7% inefficiency of a counter under optimum conditions. Two reasons for this inefficiency might be considered. 1) An ionizing particle can pass through the sensitive volume of the counter without giving rise to an ion. 2) Even if an ion is produced in the sensitive volume of the counter, the discharge may not develop if at the moment of the production of the ion the counter happens to be in its insensitive state following a previous discharge.

A simple estimate shows that the fluctuation of the ionization mentioned in 1) produces an inefficiency much smaller than the observed one. Neither can the effect of inefficient time account for the observed inefficiency, provided the extension of the discharge along the wire of the counter is prevented by suitable electronics.

The inefficient time of a counter and the spreading of the counter discharge along the wire was investigated by FENYVES and HAIMAN [4]. The electronics employed in our experiments brought back the counter to the fully efficient state after a time of the order of  $10 \mu\text{s}$ . This short inefficient time does not account for the lack of efficiency of counters observed by JÁNOSSY and KISS. FENYVES [5] analyzed the reasons for this remaining inefficiency. The result of his analysis was the following. The comparatively large inefficiency is due

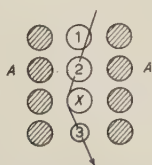


Fig. 2. Anticoincidence produced by scattering.

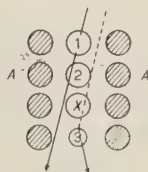


Fig. 3. Anticoincidence produced by shower containing photons.

to particles scattered in the walls of the counter and due to the effects of photons. The process is illustrated in Figs. 2 and 3, where the counter to be measured is denoted by  $X$ , and the shaded counters  $A$  on both sides are anti-

coincidence counters preventing the recording of side showers. FENYVES showed that excluding the soft component much higher efficiencies are obtained. The arrangement used by FENYVES is shown in Fig. 4. In this arrangement

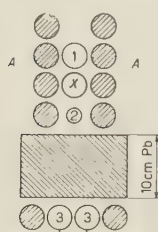


Fig. 4. - Experimental arrangement used by FENYVES.

coincidences 1, 2, 3 not accompanied by the discharge of the shaded side counters are recorded. These discharges are mainly due to single mesons, as the soft component is filtered out by the lead absorber placed between the counters 2 and 3, while side showers are excluded by the anticoincidence counters. Together with each coincidence (1, 2, 3, — X) is recorded whether or not the counter X is also discharged. The cases where X is not discharged give the inefficiency of the counter X for mesons. A survey of 28 G.-M. counters gave an average efficiency exceeding 99.9% and a more prolonged series of

measurements carried out on 4 counters showed that the maximum efficiency of these counters significantly exceeds 99.9%. We give the result of these measurements in the following Table III.

TABLE III. - Measurement of counter efficiency in %.

Overvoltage	50 V	100 V	150 V	200 V
Counter 1	$99.92 \pm 0.01$	$99.94 \pm 0.01$	$99.95 \pm 0.01$	$99.86 \pm 0.02$
Counter 2	$99.94 \pm 0.01$	$99.94 \pm 0.01$	$99.95 \pm 0.01$	$99.74 \pm 0.04$
Counter 3	$99.96 \pm 0.01$	$99.94 \pm 0.01$	$99.92 \pm 0.01$	$99.71 \pm 0.04$
Counter 4	$99.93 \pm 0.01$	$99.95 \pm 0.01$	$99.95 \pm 0.01$	$99.88 \pm 0.02$

In conclusion it is seen that G.-M. counters used with a suitable quenching circuit have an efficiency exceeding 99.9%.

## REFERENCES

- [1] L. JÁNOSSY and G. D. ROCHESTER: *Phys. Rev.*, **63**, 52 (1943).
- [2] L. JÁNOSSY and D. KISS: *Acta Phys. Hung.*, **4**, 173 (1954).
- [3] A. SOMOGYI: *KFKI Közl.* (in Hungarian), **2**, 38 (1954).
- [4] E. FENYVES and O. HAIMAN: *MTA III. Oszt. Közl.* [*Magyar Tudományos Akadémia III Osztály Közleményei* (Communications of the Hungarian Academy of Sciences, Section of Mathematics and Physics)], (in Hungarian), **2**, 351 (1952).
- [5] E. FENYVES: *Efficiency of self-quenching G.-M. counters for cosmic ray particles*, in *Acta Phys. Hung.*, in the press.



## 4.2. - Investigations of extensive showers.

Investigations of extensive air showers are in progress. With a fourfold coincidence set the original experiments on the density distribution of showers by COCCONI were repeated. Varying the counter surfaces  $S$  from 320 to 3200 cm<sup>2</sup> the number of fourfold coincidences as function of  $S$  was found [1] to be given by (see Fig. 5):

$$(1) \quad N_4(S) = AS^\gamma,$$

$$A = 0.53 \pm 0.03 \quad (\text{with } S \text{ in dm}^2, N = \text{coincidences/hour})$$

$$\gamma = 1.43 \pm 0.02.$$

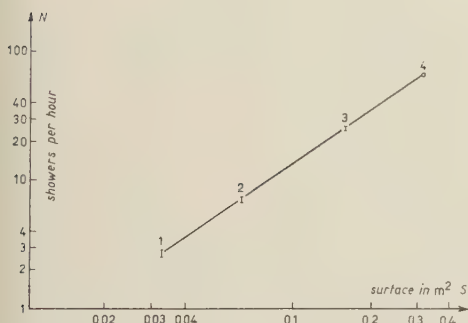


Fig. 5. - Number of showers per hour as function of counter surface  $S$ . (1, 2, 3 and 4 observed values.)

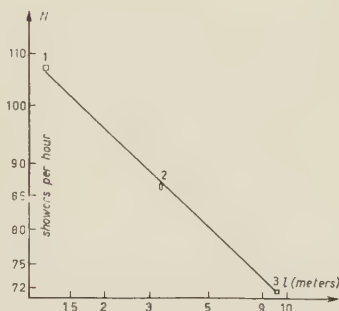


Fig. 6. - Number of showers per hour as function of distance  $l$  between counters. (1, 2 and 3 observed values.)

Furthermore changing the distance  $l$  between the counters the rate of fourfold coincidences was found [2] to vary with the distance according to (see Fig. 6):

$$(2) \quad N_4(S, l) = Bl^{-\beta},$$

$$\beta = 0.20 \pm 0.01, \quad 1 \text{ m} < l < 10 \text{ m}.$$

Our measurements, which were carried out at 410 m over sea level, extended over several months, and from the collected records the regression coefficients both of temperature effect and barometer effect of extensive showers could be deduced. It was found [2], [3]:

$$(3) \quad \begin{cases} B_T = 1000 \frac{\partial \ln N}{\partial T} = -2.8 \pm 0.4 \text{ } \text{‰} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}, \\ B_b = 1000 \frac{\partial \ln N}{\partial b} = -10.7 \pm 0.8 \text{ } \text{‰} \text{ } \text{mm}_{\text{Hg}}^{-1}. \end{cases}$$

Theoretically a connection is expected between temperature effect and the laws expressed by equ. (1) and (2). Indeed a change of temperature causes a change of density of air in the vicinity of the apparatus. An increase in air density is thus equivalent with a suitable increase of  $S$  and  $l$ . A simple calculation shows that one should expect [4]:

$$B_T = - \frac{2\gamma - \beta - 2}{T}.$$

Inserting from (1) and (2), we get

$$B_T = - 2.5 \pm 0.15 \%_0 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} \quad (\text{calculated}).$$

The above value agrees with the observed regression coefficient given in (3).

## REFERENCES

- [1] J. KOCH, T. SÁNDOR, A. SOMOGYI and J. SZIVEK: *KFKI Közl.* (in Hungarian), **1**, 61 (1953).
- [2] T. SÁNDOR and A. SOMOGYI: *KFKI Közl.* (in Hungarian), **2**, 466 (1954).
- [3] T. SÁNDOR and A. SOMOGYI: *KFKI Közl.* (in Hungarian), **2**, 165 (1954).
- [4] A. DAUDIN and J. DAUDIN: *Journ. Phys. Rad.*, **10**, 394 (1949).

## 5. — Investigations on the properties of photons.

L. JÁNOSSY

5.1. — In a number of articles L. JÁNOSSY has dealt with the problem of the foundation of quantum theory and theory of relativity [1], [2], [3]. In these articles the view is expressed that there is need of thorough experimental investigation of a number of phenomena which nearly axiomatically are assumed to exist, but which experimentally have not been sufficiently ascertained. A question of this type has recently been investigated by FABRIKANT and co-workers [4] in the U.R.S.S..

The problem under investigation by FABRIKANT was the following: given an electron optical system producing an electron diffraction pattern. The question was investigated whether or not the diffraction pattern observed in the case of high electron intensity can also be obtained in the case of an electron



beam of sufficiently low intensity, so that not more than one electron passes through the apparatus at one and the same time. The experiment was carried out with a standard electron microscope suitably modified for the purpose of the experiment. A diffraction pattern was photographed employing a beam of usual intensity and also a beam containing about 4000 electrons per s. The time of travel of an electron through the apparatus was of the order of  $10^{-8}$  s, thus the electrons were very well separated from each other. The pattern obtained with the low intensity showed exactly the same distribution as the pattern received with a high intensity, proving that the pattern does not arise from an interaction between the electrons in the beam. The above experiment of FABRIKANT and co-workers proves experimentally a well-known fundamental hypothesis of quantum theory.

A problem of this type is whether the photon character of electromagnetic waves in the cm region can be proved experimentally. FARAGÓ and MÁRZ [5] have shown theoretically that, letting electrons pass through a resonator cavity under suitable conditions, the quantum fluctuation might give rise to a defocusing of the beam sufficiently large so as to be distinguishable from classical effects. Experiments to investigate this theoretically predicted effect are in preparation.

In our laboratory in Budapest I have carried out in collaboration with ÁDÁM and VARGA [6] experiments on photons, relevant to the fundamental hypothesis of quantum theory. We investigated the following question. A beam  $a$  (Fig. 7) is split by a half-silvered mirror into two coherent components  $a_1$  and  $a_2$ . In each of these beams one electron multiplier is placed ( $M_1$  and  $M_2$ ) and it is investigated whether or not the multipliers show coincident discharges exceeding in number the accidental coincidences.

As a preliminary we worked out [7] a technique of counting single photons by means of electron multipliers. Using there the multipliers in conjunction with suitable discriminator and amplifier, we counted the impulses caused by individual photons. Cooling the multipliers with liquid air we achieved a background of 1 to 10 impacts per second and an efficiency of

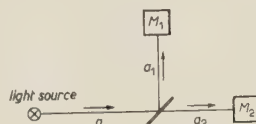


Fig. 7. — Scheme of the arrangement of ÁDÁM, JÁNOSY and VARGA.

$$p = 3 - 7 \cdot 10^{-3}$$

for the response per photon. The above uncertainty in the value of  $p$  was caused by the uncertainty in the calibration of the source of light; the multiplier itself gave reproducible results and the fluctuation of the number of impulses recorded by the multiplier showed a fluctuation only little exceeding the normal statistical fluctuation.

The experiment on possible coincidences between photons in coherent beams was carried out in the following manner. The impulses received from the multipliers were counted automatically and also fed into a coincidence amplifier with a resolving time of  $\tau \approx 2 \mu\text{s}$ . Thus coincidences and single impulses were counted 1) when the multipliers were illuminated by the coherent beams  $a_1$  and  $a_2$ ; 2) when the multipliers were illuminated by independent beams  $a'_1$ ,  $a'_2$  with intensities comparable to the intensities  $a_1$  and  $a_2$ .

In the case of incoherent illumination, the impacts on the multipliers having no physical connection, the registered coincidences must be taken in any case to be accidental, thus we may write

$$(1) \quad K' = 2N'_1 N'_2 \tau,$$

where  $N'_1$ ,  $N'_2$  are the rates of counts of the multipliers at incoherent illumination,  $K'$  the rate of coincidences thus obtained and  $\tau$  the resolving time of the amplifier. In case of coherent illumination we have

$$(2) \quad K = 2N_1 N_2 \tau + K_s = 2N_1 N_2 \tau^*,$$

where  $K$ ,  $N_1$ ,  $N_2$  are the rates of coincidences and single impulses in the case of coherent illumination,  $K_s$  the number of systematic coincidences and  $\tau^*$  the « effective resolving time » defined by (2) itself. If  $K_s = 0$ , as is to be expected from the theory, then  $\tau = \tau^*$ . The aim of the experiment was to investigate whether or not the above relation holds.

So as to investigate whether or not the theoretical prediction is correct, we suppose for the sake of argument that at least some of the photons are capable of producing coincidences. We introduce

$$N_1 = n_1 p, \quad N_2 = n_2 p,$$

where  $n_1$  and  $n_2$  are the number of photons in the coherent beams and  $p \approx 1/300$  the efficiency of the multipliers. Thus the rate of photons in the incident beam is  $n_1 + n_2$  and the rate of systematic coincidences might be written as

$$(3) \quad K_s = \varepsilon p^2 (n_1 + n_2) = \varepsilon p (N_1 + N_2),$$

where the factor  $p^2$  takes care of the fact that, even if each photon would « split into two », certainly not more than a fraction  $\approx p^2$  of these could possibly give rise to coincidences on account of the inefficiency of the recorder.  $\varepsilon$  is the fraction of those photons which potentially might give rise to coincidences, provided they happen to discharge both multipliers.



From (1), (2) and (3) we find

$$\varepsilon = \frac{K - K' N_1 N_2 / N'_1 N'_2}{p(N_1 + N_2)},$$

where the right hand side contains only quantities measured directly. A simple calculation shows that, provided  $\varepsilon$  is small, its statistical error arising from the statistical errors of the measured quantities, is given by

$$\delta\varepsilon = \frac{2}{p} \sqrt{\frac{\tau}{t}},$$

where  $t$  is the time of measurement. Carrying out series of measurements alternating frequently between coherent and incoherent illumination, we found, taking together all observations

$$\varepsilon \sim 0, \quad \delta\varepsilon \sim 0.20 \text{ } \%.$$

The conclusion from this result is that *no indication could be found for coincidences other than accidental ones between the photons of the coherent beams.* Furthermore, even if allowing for errors amounting to three times the statistical error, the results are not compatible with an assumption to the effect that more than 0.6% of the incident photons behave otherwise than predicted by the theory.

It may be necessary to note that we have checked the individual coincidence readings for consistency and have not found in the course of one and the same series of measurements of about one hour duration and consisting of 3 minute readings, fluctuations exceeding the normal Poisson fluctuation. Furthermore, we have also carried out measurements, where the coherent and incoherent illuminations were changed automatically 50 times a second and the results of the 1/100 second periods collected separately through suitable channels. The latter measurements gave results in complete accord with the former.

5.2. — Several investigations on the properties of electron multipliers are in progress; the aim of these investigations is to find out the properties of the multipliers to an extent sufficient to make possible reliable and precise measurements with multipliers. An investigation [8] was thus carried out into the sensitivity distribution of the cathode of a multiplier. For this purpose the spot of a cathode ray tube was projected on a multiplier cathode. Switching on the sweep of the oscillograph, the image of the spot was made to sweep along the cathode of the multiplier. The multiplier current, after suitable

amplification, is made to control the  $Y$ -deflection of a second oscillograph, the beam of which is moved along the  $X$ -axis synchronous with the first oscillograph. In this manner the sensitivity diagram along the line of the cathode swept by the light spot becomes directly visible on the screen of the second oscillograph. In Fig. 8 we give a photograph of such a sensitivity diagram taken with an RCA-931 A multiplier.

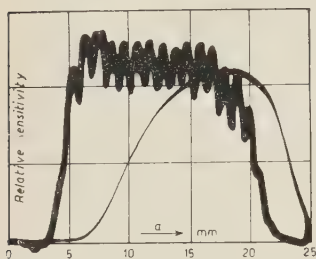


Fig. 8. — The sensibility diagram of an electron multiplier cathode along a line  $a$  which is perpendicular to the windings of the grid.

Fig. 8 shows a sensitivity diagram of the cathode in a direction perpendicular to the windings of the grid of the multiplier. The fluctuations of the sensitivity seen on the diagram are caused by the shadows of these windings.

It can be seen from the diagram that the sensitive area of the cathode is appreciably smaller than the cathode surface itself.

5.3. — Work has been carried out dealing with the pulse-size distribution in electron multipliers [9]. More detailed measurements are in progress [10]. The question of pulse-size distribution was also theoretically investigated by myself [11]. In the above paper the following problem was investigated and solved.

Suppose  $p(k)$  to be the probability for an electron falling on one of the dynodes of the multiplier and giving rise to exactly  $k$  secondary electrons. Supposing further the electrons to be independent from each other; the problem is to determine the probability  $P_N(k)$  that one electron falling on the first dynode of the multiplier gives rise to exactly  $k$  electrons emerging from the  $N$ 'th dynode.

The problem is solved with the method of generating functions. Supposing

$$G(u) = \sum_{k=0}^{\infty} u^k p(k)$$

is the generating function of the original probability distribution, then the generating function of the distribution  $P_N(k)$  is obtained by  $N$ -fold iteration of the function. Thus

$$G_N(u) = \underbrace{GG \dots G(u)}_{N\text{-times}},$$

where

$$G_N(u) = \sum u^k P_N(k).$$

The properties of the iterated generating function are discussed and a practical method is given to determine both the generating function of the



$G_N(u)$  and the distribution function  $P_N(k)$  numerically. In the particular case, where  $p(k)$  is a Poisson distribution, the function  $P_{10}(k)$  was computed numerically. The result is shown in Fig. 9.

In a further publication [12] the inverse problem is investigated and it is shown how the distribution  $p(k)$  can be obtained numerically provided  $P_N(k)$  is known experimentally for a fixed  $N$  and a suitable interval of  $k$  values.

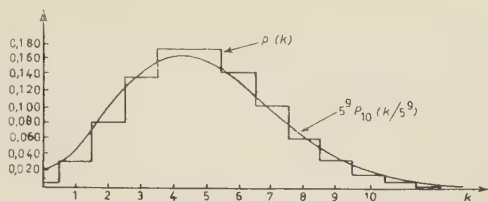


Fig. 9. -- Theoretical pulse size distribution of a ten-stage electromultiplier. Full line: Pulse distribution of the output. Step line: Distribution arising in one dynode.

## REFERENCES

- [1] L. JÁNOSSY: *Acta Phys. Hung.*, **1**, 391 (1952).
- [2] L. JÁNOSSY: *Acta Phys. Hung.*, **1**, 423 (1952).
- [3] L. JÁNOSSY: *Acta Phys. Hung.*, **2**, 171 (1952).
- [4] L. BIBERMAN, N. SUSHKIN and V. FABRIKANT: *Dokl. Akad. Nauk SSSR*, **66**, 185 (1949). (In Russian.)
- [5] P. FARAGÓ and G. MARX: *Acta Phys. Hung.*, **4**, 23 (1954).
- [6] A. ÁDÁM, L. JÁNOSSY and P. VARGA: *Experiments with photomultipliers on coherent light* in *Ann. der Phys.*, in the press.
- [7] A. ÁDÁM and P. VARGA: *Counting of photons with photomultipliers*, in *Magyar Fiz. Folyóirat [Hungarian Journal of Physics]*, in the press (in Hungarian).
- [8] Zs. NÁRAY: *Determination of cathode-sensitivity distribution of photomultipliers* in *Acta Phys. Hung.*, in the press.
- [9] A. DALLOS: *Acta Phys. Hung.*, **1**, 56 (1951).
- [10] P. VARGA: *Amplitude analyzer with Schmidt circuits*, in *KFKI Közlet.*, in the press in (Hungarian.)
- [11] L. JÁNOSSY: *Acta Math. Hung.*, **2**, 165 (1951).
- [12] L. JÁNOSSY: *On the statistics of electron multipliers*, in *Žu. Eksper. Teor. Fiz. SSSR*, in the press (in Russian).

## 6. — Nuclear Theory.

G. SZAMOSI

The well known experiments of the scattering of high energy nucleons give results which are difficult to connect theoretically with the saturation effects shown by the heavy nuclei. These experimental results appear to contradict the otherwise well founded principle of charge independence of nuclear forces.

These two difficulties might perhaps be overcome simultaneously if a re-

pulsion of short range is assumed in the interaction between nucleons, and many-body forces are introduced into the theory of complex nuclei.

A repulsive force was introduced phenomenologically for the first time by JASTROW [1] for the charge-independent interpretation of the proton-proton scattering picture, while LEVY and later WERLE [2] succeeded in making the repulsive interaction plausible. An attempt has been made also to formulate the many-body interaction between nucleons [3].

MARX and SZAMOSI have considered a classical model of the interaction which gives rise to a repulsive force between nucleons on purely classical grounds [4].

Consider thus a scalar field. The equation of classical motion is

$$(1) \quad \frac{d}{d\tau} m'_0 u_\nu = - \frac{\partial \Phi}{\partial x_\nu},$$

where  $m'_0$  is the rest mass,  $u_\nu$  the four-velocity,  $\tau$  the eigentime and  $\Phi$  the scalar field function. (1) cannot hold if  $m'_0 = \text{const.}$ , as the four-work in this case is not zero. The correct law for change of mass is  $m'_0 = m_0 + \Phi/c^2$ . Transforming now the equations of motion from eigentime to coordinate-time, and assuming that  $\Phi$  does not depend explicitly on the time, we get [4] for  $i = 1, 2, 3$  the exact form of the relativistic equations of motion

$$(2) \quad m_0 \frac{du_i}{dt} = - \text{grad } W',$$

while the fourth equation reduces to the energy principle

$$(3) \quad \frac{m_0 c^2 + \Phi}{(1 - v^2/c^2)^{\frac{1}{2}}} = E = \text{const.}$$

The potential  $W'$  on the other hand is defined by

$$(4) \quad W' = \left( \frac{m_0 c^2}{E} \right)^2 W = \left( \frac{m_0 c^2}{E} \right)^2 \left( \Phi + \frac{1}{2m_0 c^2} \Phi^2 \right).$$

From (4) it can immediately be seen that the exact relativistic equation of motion gives without any further assumption a repulsion of short range. The discussion of the equations of motion leads to interesting results. Imagining the point-like nucleon, which produces the field, located in the origin of the coordinate system, it can be shown that the nucleon moving from the infinite towards the attractive centre is accelerated up to the point

$$\Phi(r_c) = - m_0 c^2,$$

where its velocity reaches that of light. Then in the point  $r_0 < r_c$  defined by the equation

$$W(r_0) = \frac{m_0 c^2}{2} \frac{r_0^2}{r_0^2 - c^2},$$



where  $v_0$  is the initial velocity at infinity, the velocity becomes zero and the nucleon starts to move in the opposite direction. Thus  $r_0$  is the actual radius of repulsion.

A similar effect probably arises also in the case when the interaction of nucleons is transmitted by a pseudo-scalar meson field with pseudo-scalar coupling, as indicated by the unpublished calculations of MARX, GYÖRGYI, and SZAMOSI.

The non-linear potential given in (4) also leads to three-body forces without any special assumption.

In this way we succeed in explaining the repulsive interaction between nucleons and also the existence of many-body forces as relativistic effects.

It is clear, however, that in case of a complex nucleus the repulsive interaction causes a change not only in the potential but also in the kinetic energy. In the simplest case it is not difficult to give the change in the kinetic energy of a Fermi-gas due to the repulsion sphere [5]. The change of the kinetic energy has an effect also in the excited state of the nucleus [6], thus the average level density in case of medium heavy nuclei ( $A \sim 100$ ) in a free Fermi-gas at an exciting energy  $\sim 10$  MeV is raised from  $\sim 0.1$  eV to the empirical order of magnitude  $\sim 1$  eV.

#### REFERENCES

- [1] R. JASTROW: *Phys. Rev.*, **81**, 165 (1951).
- [2] M. LEVY: *Phys. Rev.*, **81**, 441 (1951); J. WERLE: *Bull. de l'Acad. Polon.*, **1**, 281 (1953).
- [3] L. JÁNOSSY: *Proc. Camb. Phil. Soc.*, **35**, 616 (1939); H. PRIMAKOFF and T. HOLSTEIN: *Phys. Rev.*, **55**, 1218 (1939).
- [4] G. SZAMOSI and G. MARX: *Ann. der Phys.*, **15**, 182, (1955).
- [5] G. SZAMOSI: *Naturwiss.*, **41**, 369 (1954).
- [6] G. SZAMOSI: *Acta Phys. Hung.*, **4**, 155 (1954).

#### 7. — On the problem of the force on polarized media in classical electrodynamics.

G. MARX

Ever since the turn of the century right up to the present, one of the important and interesting problems of classical electrodynamics, which has been much discussed, has been the exact expression for the force acting on a dielectric in an electromagnetic field, which can be polarized electrically and magnetically, and in connection with this the formula for energy and mo-

mentum of phenomenological electrodynamics. The discussion is closely connected with the results of the theory of relativity, in particular with Planck's universally valid principle of inertia of energy. The solution of the problem reduces to the determination of the energy-momentum tensor  $T_{ik}$  as this unambiguously defines the quantities mentioned.

One of the forms of the energy-momentum tensor was given by M. ABRAHAM. From this we have for the density of force the expression (using the notation customary in electrodynamics):

$$(1) \quad \mathfrak{f}^{(A)} = \varrho \mathfrak{E} + \frac{1}{c} \mathfrak{j} \times \mathfrak{B} - \frac{1}{8\pi} \mathfrak{E}^2 \text{grad } \varepsilon - \frac{1}{8\pi} \mathfrak{H}^2 \text{grad } \mu + \frac{\partial}{\partial t} \left( \frac{\varepsilon \mu}{4\pi c} \mathfrak{E} \times \mathfrak{H} \right),$$

The symmetry of Abraham's tensor is of principal importance. From the equality  $T_{ik} = T_{ki}$  follows that the principle of inertia of energy is satisfied, thus we get that the density of momentum  $\mathfrak{g}$  of the field is proportional to the density of energy flow  $\mathfrak{S}$ :

$$(2) \quad \mathfrak{S}^{(A)} = c^2 \mathfrak{g}^{(A)} = \frac{c}{4\pi} \mathfrak{E} \times \mathfrak{H}.$$

II. MINKOWSKI put forward another form for the electromagnetic energy-momentum tensor which is simpler than Abraham's. From this we obtain for the density of force

$$(3) \quad \mathfrak{f}^{(M)} = \varrho \mathfrak{E} + \frac{1}{c} \mathfrak{j} \times \mathfrak{B} - \frac{1}{8\pi} \mathfrak{E}^2 \text{grad } \varepsilon - \frac{1}{8\pi} \mathfrak{H}^2 \text{grad } \mu.$$

The Minkowski tensor, however, is not symmetrical, that is why when using it, the principle of inertia of energy is not satisfied for the electromagnetic energy:

$$(4) \quad \mathfrak{S}^{(M)} = \frac{c}{4\pi} \mathfrak{E} \times \mathfrak{H}, \quad \mathfrak{g}^{(M)} = \frac{1}{4\pi c} \mathfrak{D} \times \mathfrak{B}.$$

Since there was no serious reason to give up the validity of inertia of energy (equivalence of energy and mass) for any form of energy, most physicists supported Abraham's idea. In the last few years, however, certain objections have been raised. The weightiest problem resulted from a criterion put forward by LAUE. Consider a wave packet travelling in a non-conducting medium and moving together with it a material particle. The fact that wave packet and particle travel together is uniformly valid for any observer, thus it is necessary that the velocity of propagation of light energy can be transformed similar to the velocity of a mass point (according to Einstein's addition of velocities). LAUE showed that in case of a plane wave the velocity calculated



from Minkowski's tensor satisfies the above criterion, not so, however, Abraham's velocity. This is why in the last few years more physicists pronounced in favour of the correctness of Minkowski's expression for the force, a uniform attitude, however, has by no means developed (\*).

In view of this situation the physicists working in the Institute for Theoretical Physics of the University in Budapest set themselves the task of clearing up the question, if possible in all details, and of bringing into accord the requirements seeming to contradict each other. The researches were going on under the direction of Prof. K. NOVOBÁTZKY.

According to our opinion it is difficult to imagine that the principle of equivalence of energy and mass, a principle proved in numerous cases, should not be valid for all energy types. We put therefore the following question: Is it possible to explain all phenomena on the basis of ABRAHAM's conception?

It is most desirable to determine the form of the energy-momentum tensor not by trial and error but by some general method. Such a possibility is provided by the variation method of field theory. Variation of the potentials  $\varphi_i$  of the correct Lagrange functions should give the field equations and variation of the metrical tensor  $g_{ik}$  the energy-momentum tensor. K. NOVOBÁTZKY [1] proposed the following Lagrange function:

$$L = \frac{1}{4} F_{ik} H^{ik}.$$

Here

$$F_{ik} = \partial_i \varphi_k - \partial_k \varphi_i, \quad H_{ik} = \frac{1}{\mu} F_{ik} + \frac{\varepsilon\mu - 1}{\mu} (u_i F_{ks} - u_k F_{is}) u^s$$

are two antisymmetrical tensors which are formed from the field quantities  $(\mathfrak{E}, \mathfrak{B})$  and  $(\mathfrak{D}, \mathfrak{H})$  resp.,  $u_i$  is the four-velocity of the dielectric. The variation of the potentials led indeed to Maxwell's equations, that of the  $g_{ik}$  resulted in Abraham's tensor. (The method can be generalized for dielectrics showing anisotropic or permanent polarization [4, 3]).

The divergence of views dealt with above becomes mainly apparent in the case of electromagnetic radiation travelling in transparent media. In this case all the terms of the density of force (3) are zero and according to Minkowski there is no macroscopic interaction of forces between the light ray and the medium. The last term of Abraham's expression (1) for the force

(\*) See for instance: M. LAUE: *Relativitätstheorie* I (1953); C. MÖLLER: *The Theory of Relativity*.

remains, however:

$$(5) \quad \vec{f} = \frac{\hat{c}}{\partial t} \left( \frac{\epsilon \mu - 1}{4\pi c} \mathcal{E} \times \vec{H} \right).$$

Where does the force exerted on the non-absorbing medium originate? G. GYÖRGYI [6] pointed out the following solution. He divided up equ. (1) of the force into terms having clear physical significance. Among these the Lorentz force acting on the polarization current  $\partial \mathcal{P} / \partial t$  produced by the periodically changing electric field appears:

$$\vec{f}^p = \frac{1}{c} \frac{\partial \mathcal{P}}{\partial t} \times \mathcal{E},$$

as well as its analogous magnetic term. Through this force the field acts even in a transparent medium upon the charges moving inside the polarized molecules (\*). For practical purposes the force given by (5) arising from the difference between (1) and (3) is of no importance. This force is only noticeable if the field changes rapidly, but rapidly changing fields are as a rule changing periodically (electromagnetic waves) and in such cases the time average of the force given by (5) vanishes (†). The expression (5) for the force becomes, however, of fundamental interest if we investigate the question of energy and momentum relations.

According to Minkowski the force produced by an electromagnetic wave inside the medium is zero and thus from the macroscopic point of view the radiation energy has exclusively the form of electromagnetic energy in the inside of the medium. The position is different if according to the view of Abraham we consider the force upon the polarization currents produced by the field. According to this, the radiation transfers part of its energy (and of its momentum) to the medium. Part of the radiation energy thus appears periodically changing, once in the form of field energy, then in the form of elastic energy; but the elastic energy differs from zero only there, where there is also electromagnetic energy. It is obvious that we have to take the total radiation energy as composed of the field energy and also of the elastic energy, which for half-periods is taken over by the dielectric and which is propagated together with the other form of energy. From the force expression (5) it becomes possible to express the energy transferred to the dielectric in terms

(\*) EINSTEIN objected already in 1908 in one of his papers to Minkowski's disregard of this force, thus differentiating between conductive current and polarization current.

(†) From the above among others also follows that for the value of the force exerted by the radiation, coming from a dielectric and falling on to an absorbing medium, equation (1) gives the same values as obtained from equ. (3) and both values agree with the experiment.



of the field quantities [6, 8]. G. MARX has shown that the energy if taken in this way satisfies the criterion given by LAUE [6]. In this way one gets rid of the most important objection which can be made against Abraham's tensor (\*).

Let us consider the problematic parts of Minkowski's view which arise from the asymmetry of the energy-momentum tensor. In the literature the question as to the consequences of the asymmetry of the spacelike tensor components in anisotropic dielectrics has been much discussed. It was realized that the field under such circumstances would produce an angular momentum upon the dielectric even if there is no force. We do not discuss this question here for anisotropic media, but note that the angular momentum which is produced upon crystalline media can be taken as a result of forces, if we consider it according to ABRAHAM [6].

The asymmetry of the time-like components of the Minkowski tensor has a number of interesting consequences. Firstly the law of inertia of energy becomes invalid (+), secondly the principle of the motion of the mass centre is also modified as was shown by G. GYÖRGYI [7] in connection with the ideal experiment of N. L. BALÁZS. Denote the energy density of the field  $u$ , the mass density of the dielectric  $\mu$ . For the acceleration of the mass centres of the electromagnetic field and dielectric the following expressions can be derived (×):

$$(6) \quad \frac{d^2}{dt^2} \int \mu \mathbf{v} dV = - \frac{d^2}{dt^2} \int \frac{u}{c^2} \mathbf{v} dV = \int \left[ \mathbf{f} + \frac{\partial}{\partial t} \left( \mathbf{g} - \frac{1}{c^2} \mathfrak{S} \right) \right] dV.$$

In the theory of Abraham, as seen from equ. (2),  $c^2 \mathbf{g} = \mathfrak{S}$ , according to this the centre of mass of the dielectric suffers acceleration only if there is an acting force. According to the Minkowski view, however, we have always accelerations provided the integral of the expression

$$(7) \quad \mathbf{f}^{(M)} + \frac{\partial}{\partial t} \left( \mathbf{g}^{(M)} - \frac{1}{c^2} \mathfrak{S}^{(M)} \right)$$

(\*) We note that, as already pointed out by BECK, on account of its asymmetry even the Minkowski tensor is unsuitable for the complete description of the radiation. Since, however, for the Minkowski tensor the force expression (3) vanishes, the completion of the Minkowski tensor cannot be given in such an obvious manner as above.

(+) In a crystalline dielectric the energy flow  $\mathfrak{S}^{(M)}$  and the momentum density  $\mathbf{g}^{(M)}$ , as obtained from (4) are vectors which are not proportional to each other and not even parallel. From this one would arrive at the strange result that the energy of the radiation in the medium moves in a direction which is different from the direction in which the mass of the radiation moves!

(×) For the sake of simplicity we use such a system of reference where the effect of force is zero.

differs from zero. The latter can be the case even if  $\mathfrak{f}^{(M)} = 0$ . The expression (7) agrees completely with the force obtained from Abraham's tensor according to (1), but if we do not accept the force-character of expression (5) which appears beside  $\mathfrak{f}^{(M)}$ , then it is difficult to interpret equ. (7) physically. If we make use of the continuity equations valid for  $\mu$  and  $u$  then we can transform (6) into the following equation:

$$(8) \quad \frac{d}{dt} \int \mu \mathfrak{B} dV = - \frac{d}{dt} \int \frac{u}{c^2} \mathfrak{v} dV = \int \left[ \mathfrak{f}^{(M)} + \frac{\partial}{\partial t} \left( \mathfrak{g}^{(M)} - \frac{1}{c^2} \mathfrak{S}^{(M)} \right) \right].$$

We see there that if we were to assume the momentum density of the field to be given by  $\mu \mathfrak{B}$  and respectively  $(u/c^2)\mathfrak{v}$ , and further if we were to use equ. (3) and (4), then we could not maintain the law of motion, i.e. change of momentum = force. Therefore in the view of Minkowski the momentum of the dielectric and the momentum of the field must be defined by the following expressions:

$$(9) \quad \int \left[ \mu \mathfrak{B} - \frac{\varepsilon\mu - 1}{4\pi c} \mathfrak{E} \times \mathfrak{H} \right] dV, \int \left[ \frac{u}{c^2} \mathfrak{v} + \frac{\varepsilon\mu - 1}{4\pi c} \mathfrak{E} \times \mathfrak{H} \right] dV = \int \frac{1}{4\pi c} \mathfrak{D} \times \mathfrak{B} dV.$$

The latter expressions correspond to the less natural splitting up of the time-independent expression

$$\int \left[ \mu \mathfrak{B} + \frac{u}{c^2} \mathfrak{v} \right] dV = \int \left[ \mu \mathfrak{B} + \frac{1}{4\pi c} \mathfrak{E} \times \mathfrak{H} \right] dV.$$

From equ. (9) we have to conclude among others that the dielectric (and the radiation) possesses momentum even in that system of coordinates where it is at rest. The expressions (2) derived from Abraham's formalism correspond to the more natural splitting up into  $\mu \mathfrak{v}$  and  $(1/4\pi c)\mathfrak{E} \times \mathfrak{H}$ .

The difference between the views assuming symmetrical and non-symmetrical energy-momentum tensor appears in an even more striking manner if we investigate the properties of light quanta moving in a transparent medium. JATCH and WATSON applied first the methods of quantum theory in phenomenological electrodynamics in 1948. They worked with the canonical energy-momentum tensor, although the canonical expressions do not agree with the expressions for energy and with the momentum expression (2), except in a closed system, nevertheless in a transparent medium  $\mathfrak{f}^{(M)} = 0$ , and therefore the canonical tensor of phenomenological electrodynamics agrees on the whole with the Minkowski tensor (1). K. NAGY has discussed [9] the properties of light quanta according to Abraham's view. He considered as the radiation energy the sum of the field energy and that part of the elastic energy transferred to the medium which moves together with the field energy. In

the Minkowski view the four-vector giving the energy and the momentum of the photon appeared as a space-like four-vector. (From this we could conclude that the rest mass of the photon moving in the dielectric becomes imaginary and that the energy of the photon taken in a coordinate system moving with the photon vanishes, but the momentum of the photon in the same coordinate system would differ from zero. An observer moving with a velocity exceeding that of light would find the energy of the photon to be negative.) On the other hand, according to the Abraham view, if the elastic stresses produced in the medium are taken into account, one gets for the photon a result comparable to the momentum and energy of a mass point. The energy and momentum of the photon seen from a system at rest with respect to the dielectric is thus given by

$$E = h\nu, \quad p = \frac{h\nu}{c^2} \cdot \frac{c}{\sqrt{\varepsilon\mu}}.$$

The energy and momentum give together a time-like four-vector. The observer moving together with the photon observes a finite (positive) rest energy and a vanishing momentum: the energy of the photon in any system of reference is positive definite (\*).

From what we have discussed above we may conclude that the expressions for force, energy and momentum given by Abraham seem to be the most natural ones in the framework of the phenomenological electrodynamics. They give the most natural description of the phenomena. In our opinion there is no such phenomenon the explanation of which could not be given in the framework of Abraham's conception. Of course, an experimentum crucis which might prove experimentally the force appearing in the expression (5) would be very desirable (+).

(\*) The fact that the rest mass of a photon, which moves in a dielectric with a velocity less than its vacuum velocity  $c$ , has a finite positive value, is not surprising from the point of view of electrodynamics. A similar phenomenon appears also in the case of a vacuum, e.g. in the case of the stationary waves forming in a resonator cavity or in the case of electromagnetic waves moving through a wave guide.

(+) The following arrangement appears useful: We place a cylinder condenser in a magnetic field, the lines of force parallel to the axis of the cylinder. Between the plates of the condenser a ferromagnetic dielectric of cylindrical shape is suspended on a torsion filament. If the condenser is periodically charged and discharged one might expect the force given by (5) to produce oscillations through resonance which might be of measurable size.



## REFERENCES

- [1] K. NOVOBÁTZKY: *Hung. Acta Phys.*, old series No. 5 (1949).
- [2] G. MARX: *Acta Phys. Hung.*, **1**, 209 (1952).
- [3] G. MARX: *Acta Phys. Hung.*, **2**, 67 (1952).
- [4] G. MARX: *Acta Phys. Hung.*, **3**, 75 (1953).
- [5] J. NÉMETH: *Year-book of the Faculty of Natural Sciences of the University*, Budapest (in Hungarian).
- [6] G. GYÖRGYI and G. MARX: *Acta Phys. Hung.*, **3**, 213 (1954).
- [7] G. GYÖRGYI: *Acta Phys. Hung.*, **4**, 121 (1954).
- [8] G. MARX and K. NAGY: *Acta Phys. Hung.*, **4**, 295 (1955).
- [9] K. NAGY: *The quantum theory of electromagnetic radiation in dielectrics - Thesis*, in *Acta Phys. Hung.*, in the press.

## Sur les observations révélant des processus de désintégration nucléaire dans certains astres.

Travaux du Prof. V. A. Ambarcumjan (\*)

V. KOURGANOFF

*Laboratoire d'Astronomie de la Faculté des Sciences - Lille*

(ricevuto il 3 Febbraio 1955)

### SOMMAIRE

1. Introduction. 2. Critique de l'explication du débit d'énergie des étoiles par des réactions thermonucléaires. — 3. Possibilité d'une méthode partant des observations. 4. Les observations les plus significatives dans le problème des sources de l'énergie stellaire: 1. Les particularités de l'émission continue dans certaines étoiles. 2. La variabilité des *nébuleuses cométaires*. 3. Observation de *nébuleuses cométaires* dans les nébuleuses diffuses brillantes. 4. Les *objets* de Herbig-Haro. 5. Les désintégrations nucléaires dans les couches extérieures des étoiles. — 5. **Caractère discret** de l'éjection et de la libération de l'énergie intrastellaire. — 6. Discussion. — 7. Bibliographie.

### 1. — Introduction.

Sollicité par Mr. le Directeur de *Il Nuovo Cimento*, d'écrire un article sur un sujet d'Astrophysique de mon choix, « servant le mieux à faire relever l'activité des astrophysiciens slaves », j'ai pensé que le récent travail du Prof. V. A. AMBARCUMJAN, sur *Le phénomène d'émission continue et les sources de l'énergie stellaire* répondait de manière idéale aux intentions de *Il Nuovo Cimento*.

(\*) Il s'agit évidemment de l'astronome soviétique bien connu dont le nom s'écrit généralement AMBARZOUMIAN ou AMBARTSUMIAN. Nous avons voulu nous conformer ici à la transcription des caractères russes en usage dans *Il Nuovo Cimento* (voir ce fascicule, pag. 387). M. le Prof. V. A. AMBARCUMJAN dirige l'Observatoire Astrophysique de Bjurakan, dans la R.S.S. d'Arménie; il est membre de l'Académie des Sciences de l'URSS et Vice président de l'Union Astronomique Internationale.

En effet, comme l'avait déjà fait remarquer le Prof. O. STRUVE, l'actuel président de l'Union Astronomique Internationale, grand connaisseur de la production astronomique en langue russe, les astronomes soviétiques ont tendance à mieux réussir dans les *travaux théoriques* que dans les travaux d'observation ou d'expérimentation et ils n'ont pas encore à leur disposition de télescopes ayant la puissance des 200, 120, 100, 82 et même 69 pouces américains.

Dans ces conditions il convenait de faire connaître avant tout le meilleur de la production théorique de nos collègues soviétiques, et nul ne la représente avec plus d'éclat que le Prof. AMBARCUMJAN, qui compte à son actif des idées aussi fécondes que le « Principe d'Invariance » dans la théorie du transfert du rayonnement, et la notion d'« Associations Stellaires » dans l'étude de la structure de la Galaxie, autour desquelles gravitent de très nombreux travaux soviétiques et occidentaux. Ces travaux étant déjà relativement bien connus, grâce, en particulier, aux exposés du Prof. S. CHANDRASEKHAR [1] et nos propres exposés [2, 3], nous avons choisi un travail tout récent d'AMBARCUMJAN [4], encore presque inconnu, mais qui nous semble porter sur un sujet d'une brûlante actualité, et apporter des suggestions très stimulantes, malgré leur présentation un peu spéculative.

Notre choix a été également conditionné par une considération d'une tout autre nature. En effet, comme on le verra plus loin, et comme on le vérifie aisément par les noms des auteurs cités dans la bibliographie, les recherches d'AMBARCUMJAN sur les sources d'énergie stellaire s'appuient largement sur les travaux des observateurs de tous les pays, et illustrent magnifiquement cette vérité élémentaire, qu'il serait regrettable de perdre de vue, le caractère profondément international de la Science, qui ne connaît pas de frontières nationales ou politiques.

## 2. — Critique de l'explication du débit d'énergie des étoiles, par des réactions thermonucléaires.

Il faut une grande indépendance de jugement, et un certain courage intellectuel, pour affirmer l'insuffisance de l'explication du débit d'énergie stellaire juste au moment où l'explosion des bombes à hydrogène, en URSS et aux USA, fournit l'illustration spectaculaire de l'efficacité prodigieuse des réactions thermonucléaires, et ce qu'on pouvait croire comme meilleur exemple de l'influence favorable de l'astronomie sur la physique.

C'est cependant ce que fait le Prof. AMBARCUMJAN, quand il affirme que jusqu'à ce jour notre conception de la nature des sources de l'énergie stellaire était construite sur un mode trop théorique.

Rappelons en effet que, dans la conception courante, les sources d'énergie



stellaire sont supposées fonctionner dans des couches suffisamment profondes pour échapper entièrement à l'observation directe. Cela conduit à la construction de différents « modèles d'étoiles », constructions théoriques où l'on se donne plus ou moins arbitrairement la masse, la composition chimique, et la structure mécanique de l'étoile, ainsi que les propriétés des sources d'énergie, pour en déduire au moyen des lois physiques, un certain nombre de propriétés observables, comme, par exemple, la relation entre le type spectral et la luminosité de l'étoile, connue en astrophysique sous le nom du « diagramme de Hertzsprung-Russell ».

AMBARCUMJAN considère que cette méthode n'a pas donné de résultats satisfaisants, et il incrimine tout particulièrement l'hypothèse des réactions thermonucléaires, qui est à la base du calcul du « débit d'énergie » dans l'établissement des « modèles stellaires ».

Il remarque, en effet, que l'« explication » de chaque point dans le diagramme de Hertzsprung-Russell s'obtient en « ajustant » pour les besoins de la cause, deux paramètres: la masse et la concentration en hydrogène. Or, il aurait fallu montrer en même temps, selon lui, pourquoi certains couples de valeurs de ces paramètres se rencontrent dans la nature plus souvent que d'autres, puisque dans le diagramme de Hertzsprung-Russell les étoiles observées réellement se distribuent suivant des « séquences » bien connues, au lieu d'être distribuées au hasard. On dispose de plus de la possibilité de faire varier les hypothèses sur l'état mécanique de l'intérieur stellaire, ce qui rend encore plus aléatoire le contrôle des hypothèses par la comparaison de la théorie aux observations.

Le plus grave, selon AMBARCUMJAN, est que la théorie correspondante « n'a su prévoir aucun fait nouveau et n'a pu apporter, jusqu'ici, aucune aide à l'observation ». Ainsi, il serait « clair que le travail gigantesque, dépensé pour le calcul et la discussion des différents modèles concevables, n'a pas donné les résultats qu'on en attendait »!

AMBARCUMJAN compare la situation dans ce domaine, avec l'état de la question de l'origine des étoiles, précédant l'introduction de la notion d'Association Stellaire.

### 3. — Possibilité d'une méthode partant des observations.

Les récents succès de la méthode qui consiste à partir des observations, dans le problème de l'origine des étoiles, laissent espérer que dans le problème de la nature des sources de l'énergie stellaire, des progrès semblables pourraient être réalisés, par un choix judicieux des observations « où les processus du dégagement de l'énergie intrastellaire » se manifestent de la manière la plus

directe. Or, dans l'énorme moisson des observations, dont s'est enrichie récemment l'Astrophysique, il est possible d'effectuer un tel choix. Il suffit de s'adresser, pour commencer, aux observations des étoiles « non stationnaires », et plus particulièrement de celles qui sont suffisamment « jeunes » pour qu'on puisse considérer qu'elles sont encore dans le stade de formation. Un exemple de telles étoiles nous est fourni par les étoiles variables que les astrophysiciens appellent les « T Tauri », du nom du représentant le plus caractéristique de l'espèce. On peut aussi s'adresser aux observations des *processus* non stationnaires, dans les étoiles qui, dans leur ensemble, sont considérées comme stationnaires (par exemple dans le Soleil).

AMBARCUMJAN ne prétend pas résoudre le problème des sources d'énergie stellaire, mais veut seulement attirer l'attention des physiciens et des astrophysiciens sur certains faits, qu'il pense être en relation directe avec les *processus* dont l'analyse approfondie pourrait conduire à la solution cherchée.

Il considère donc successivement:

- 1) L'émission continue dans les spectres de certaines étoiles variables de faible luminosité.
- 2) Les nébuleuses « cométaires » et leur variabilité.
- 3) La présence d'objets d'aspect cométaire dans les nébuleuses diffuses brillantes.
- 4) L'existence des « objets de Herbig-Haro ».
- 5) L'observation directe des *processus* de désintégration nucléaire dans les couches extérieures des étoiles.

#### 4. — Les observations les plus significatives dans le problème des sources de l'énergie stellaire.

##### 4.1. — *Les particularités de l'émission continue dans certaines étoiles.*

Certaines étoiles variables de faible luminosité (donc de grande magnitude absolue) présentent, de temps en temps, le « phénomène d'émission continue »: tout se passe comme si au spectre continu ordinaire, affecté de raies d'absorption et d'émission, se superposait un rayonnement continu supplémentaire, « noyant », par diminution de contraste, toutes les raies primitives. Une forte proportion d'étoiles variables de faible luminosité est affectée de phénomènes qui se manifestent spectroscopiquement de cette manière.

Les exemples les plus spectaculaires s'observent dans les variations spectrales de l'étoile naine UV Ceti et des étoiles analogues (appelées en anglais

« flare stars »). En effet, JOY et HUMASON ont découvert [5] que le spectre de cette étoile, de type dM5e en temps normal (étoile naine de type spectral M, à raies d'émission) est devenu complètement « noyé » par un rayonnement continu additionnel, au cours d'une « éruption » (flare) observée le 25 Septembre 1948. En même temps que disparaissaient les raies d'absorption normales, on observait des raies d'émission de l'Hélium et de l'Hélium ionisé, et les raies d'émission de l'Hydrogène se renforçaient. La répartition spectrale du rayonnement continu additionnel, diffère de la répartition spectrale du spectre continu des naines rouges (froides) par un maximum nettement déplacé vers le bleu.

L'ensemble de toutes les données concernant les « éruptions » des étoiles du type UV Ceti, au demeurant assez maigre, conduit à rejeter l'hypothèse de l'origine thermique de l'émission continue en question. En effet, remarque AMBARCUMJAN, si le « flare » était lié à une élévation de température de quelque partie de la photosphère par afflux de chaleur venant de l'intérieur, ces « éruptions » n'auraient pas leur étonnante *brièveté*. Le « flare » du 24 Octobre 1952 de UV Ceti, n'a duré que deux minutes, et l'éclat d'une des composantes (UV Ceti est une étoile double) a augmenté de plus de 1,6 magnitude en moins de 7 secondes. A une autre occasion (17 Septembre 1952), l'éclat du couple s'est accru de 3,4 magnitudes en 15 secondes et l'ensemble de l'éruption n'a duré que quatre minutes [6]. Or, il semble évident que le « chauffage » de la photosphère par afflux de chaleur venant de l'intérieur devrait durer beaucoup plus longtemps, et, de plus, ne pourrait pas affaiblir à un tel point l'ensemble de toutes les raies d'absorption.

AMBARCUMJAN considère donc qu'il reste une seule issue possible: la génération de l'émission continue sous faible épaisseur optique, dans les couches les plus élevées de l'étoile, et peut-être même au dessus de la couche renversante. De cette manière, on comprendrait la disparition des raies d'absorption sur le fond de cette émission continue. Dans le même ordre d'idées, l'apparition des raies d'émission, pendant le flare, conduit à placer la source du rayonnement continu, encore plus haut, dans les couches supérieures de la Chromosphère de l'étoile.

La quantité d'énergie dégagée au cours d'une éruption d'une étoile du type UV Ceti, sous la forme d'émission continue *est si considérable*, que, comme on l'a vu tout à l'heure, la luminosité de l'étoile dans le domaine spectral intéressant la photographie augmente dans une proportion de *dix ou même de cent*. Même si l'on tient compte de ce que le maximum du rayonnement continu normal des étoiles du type M5 se trouve dans la partie Infra-Rouge du spectre, et de la faiblesse probable de l'émission continue dans l'Infra-Rouge, on trouve que le rayonnement (bolométrique) total, dans l'ensemble de toutes les fréquences, doit augmenter au cours d'un flare, au moins d'un facteur de quelques unités.

Il est évident que d'aussi grandes quantités d'énergie ne peuvent apparaître



dans les couches extérieures aux dépens d'une simple re-distribution (transformation) de l'énergie au sein de l'*atmosphère* stellaire. Il est donc nécessaire de supposer, affirme AMBARCUMJAN, que l'énergie de l'émission continue, qui constitue la partie essentielle de l'énergie rayonnée au cours de l'éruption, *est apportée, par quelque mécanisme encore inconnu, autre que la conduction thermique ou le transfert radiatif, des couches profondes vers les couches les plus extérieures de l'étoile*. Autrement dit, il faut admettre que l'énergie peut être transférée des couches profondes vers la surface par l'éjection directe de la « matière intrastellaire », porteuse de l'énergie « intrastellaire ».

L'émission continue, qui voile les raies d'absorption, n'affecte pas seulement les « flare stars », mais caractérise également de nombreuses étoiles du type T Tauri, surtout au voisinage du maximum d'éclat de ces étoiles variables. AMBARCUMJAN cite un récent article de JOY [7], à l'appui de cette affirmation, et donne six exemples de la manière dont se manifeste cette « émission continue », dans les étoiles du type T Tauri. Ses exemples sont relatifs aux étoiles suivantes: UZ Tau; RW Aur; DD Tau; DH et DI Tau et T Tau; ils sont basés sur les travaux [8] à [17] de la bibliographie, dont 5 sont russes et 5 américains (ou belges).

Si dans le cas des étoiles du type UV Ceti l'augmentation d'éclat est presque entièrement imputable à l'émission continue, dans le cas des étoiles T Tauri les phénomènes sont moins simples et moins nets. Car l'augmentation de l'éclat des étoiles T Tauri n'est pas toujours accompagnée d'une intensification de l'émission continue. Pour certaines d'entre elles on n'observe pas d'atténuation des raies d'absorption: ce qui témoigne de la faiblesse de l'émission continue. Ici pour les T Tauri, la variation de l'éclat est donc conditionnée, tantôt entièrement tantôt partiellement, par une variation de la *température* de l'étoile. De même il n'y a pas de parallélisme intégral entre les variations d'intensité des raies d'émission et celles de l'émission continue. Tel est le cas de XZ Tau [18].

La conclusion d'AMBARCUMJAN, en ce qui concerne les étoiles T Tauri est donc la suivante:

Les variations d'éclat des étoiles du type T Tauri sont liées à un apport d'une énergie de rayonnement additionnelle, sous trois formes suivantes:

- a) Rayonnement thermique, lié à une élévation de température.
- b) Energie des raies d'émission.
- c) Emission continue.

Tous ces processus sont essentiellement concomitants.

AMBARCUMJAN pense qu'il est naturel de considérer ces trois formes d'énergie comme la conséquence d'une seule et même cause, se manifestant seulement différemment.

Cette cause commune, serait ici, comme dans le cas des UV Ceti, l'éjection,

par les couches internes de l'étoile, d'une certaine portion de matière intrastellaire, porteuse de l'énergie « intrastellaire ».

L'apparition des variantes *a*), *b*), *c*), ci-dessus serait due à la libération de l'énergie en question, par la matière éjectée, à des *niveaux différents*.

Dans le cas où la libération de l'énergie s'effectue dans les couches extérieures de la chromosphère ou au dessus de ces couches, nous aurions l'émission continue, voilant les raies d'absorption, par un mécanisme identique à celui qui opère dans les UV Ceti.

Dans le cas où la libération de l'énergie s'effectue dans les couches basses de la chromosphère ou dans la couche renversante, une partie de l'énergie libérée serait dégagée sous la forme de rayonnement continu (sur lequel peuvent se superposer dans ce cas des raies d'absorption), tandis qu'une autre partie servirait à l'excitation des raies d'émission de l'Hydrogène et d'autres éléments.

Dans le cas où la libération de l'énergie s'effectue dans les couches extérieures de la photosphère, on arriverait à un mélange de rayonnement thermique et non-thermique, ce dernier pouvant d'ailleurs provoquer l'apparition de raies d'émission.

Enfin lorsque l'énergie en question est libérée dans les couches profondes de la photosphère, on pourrait observer, principalement, seulement un accroissement du rayonnement thermique et les modifications spectrales n'auraient plus le caractère violent de tous les cas précédents.

On sait que certaines étoiles dont les variations d'éclat sont du type T Tauri, ne présentent pas dans leur spectre de raies d'émission. Ainsi, selon HERBIG [19], seule la moitié des étoiles variables de la nébuleuse d'Orion présente la raie  $H_{\alpha}$ , tandis que dans l'association T au voisinage de S Mon, 70 % des variables présentent, dans leur spectre, la raie en question. Ces données sont encore un peu incertaines car les spectres d'étoiles très faibles sont encore mal connus; d'autre part cette statistique pourrait être faussée par une disparition temporaire de certaines raies d'émission d'Hydrogène, due à la variabilité de l'étoile. Cependant les considérations présentées ci-dessus, sembleraient indiquer que pour un grand nombre d'étoiles des deux Associations précitées, le dégagement de l'énergie se produit dans les couches photosphériques profondes, avec absence correspondante de raies d'émission.

AMBARCUMJAN remarque enfin, que, contrairement à ce qui se passe pour les UV Ceti, dans le cas des T Tauri la période pendant laquelle le rayonnement s'effectue sur le compte de l'énergie additionnelle, provenant de la matière « intrastellaire », est relativement longue. Il en résulterait que les « ondes » correspondantes dans la courbe de lumière des T Tauri, qui correspondent aux différentes « éjections » successives, se recouvrent, donnant ainsi des variations irrégulières d'éclat caractéristiques des étoiles variables de ce type. En particulier, dans le cas de DD Tau, étudiée par STRUVE et SWINGS [15], les « éjec-

tions » seraient si fréquentes, et seraient si souvent accompagnées d'émission continue, que les raies spectrales d'absorption, seraient presque toujours voilées.

#### 4.2. — *La variabilité des nébuleuses « cométaires ».*

Les nébuleuses *planétaires* ont été beaucoup étudiées, et des centaines de travaux ont été consacrés à la théorie physique de ces objets. Par contre il existe une classe de « petites » nébuleuses, qui a été très peu étudiée: ce sont des nébuleuses « cométaires » (\*) ou « cométoïdes ». Or, ces dernières présentent un grand intérêt du fait, qu'avec les enveloppes éjectées par des Novae, ce sont les seules nébuleuses qui comptent parmi elles des objets *variables*.

AMBARCUMJAN fait remarquer que presque toutes les nébuleuses variables connues sont liées à des étoiles variables du type T Tauri, ou des étoiles analogues. L'exemple classique est fourni par la nébuleuse de Hind, NGC 1555, voisine de T Tauri elle-même. Découverte en 1852, et constituant à cette époque un objet notable, elle faiblit considérablement vers 1861 devenant à peine perceptible dans les plus gros télescopes. Elle disparut complètement en 1868. Mais dès 1890 on a pu l'observer de nouveau, d'abord sous la forme d'un objet faible, atteignant, avec le temps, un certain éclat. Le spectre de cette nébuleuse est continu, et l'hypothèse qu'elle constitue une nébuleuse par réflexion paraît naturelle. Cependant cette hypothèse est *inacceptable* du fait que les variations de l'éclat de la nébuleuse, en particulier pendant la phase de sa disparition, sont sans aucun rapport avec les variations de l'éclat de T Tauri elle-même, qui se trouve, en projection sur la sphère céleste, à une distance de 40" environ de la nébuleuse. Si la distance véritable est dans un rapport raisonnable avec la distance angulaire des projections, la lumière de l'étoile doit mettre quelques mois pour parvenir à la nébuleuse, et la nébuleuse doit, dans l'hypothèse de la réflexion, répéter avec un déphasage de quelques mois, les variations de l'éclat de l'étoile, ce qui n'est pas conforme aux observations.

Il est évident également qu'ici on ne peut rien expliquer par des modifications réelles dans la nébuleuse elle-même. Il faudrait, en effet, admettre dans ce cas des déplacements de masses constituantes avec des vitesses atteignant 10 000 km/s et plus. Mais dans ce cas on ne comprendrait pas la reconstitution de la nébuleuse au même endroit, après sa disparition, même avec quelques modifications dans sa forme. Donc, on n'arrive pas à expliquer les observations par le rayonnement thermique. *Ici encore on est conduit à chercher quelque nouveau mécanisme d'excitation du rayonnement continu!*

(\*) En anglais: « comet-like » ou « fan-shape ».



On sait que le Prof. KIPPER [47], a expliqué le spectre des nébuleuses planétaires par l'émission simultanée de deux photons par des atomes d'Hydrogène (accompagnant les transitions de ceux-ci de l'état métastables  $2s$  à l'état fondamental  $1s$ ). Cependant dans le cas qui nous occupe les conditions ne sont pas favorables à une interprétation de ce type. Cela renforce la nécessité d'attribuer le rayonnement de la nébuleuse de Hind à un *nouveau mécanisme encore inconnu*.

Un second exemple analogue est fourni par la nébuleuse « cométaire » B 10 liée à l'étoile variable DD Tau. Cette dernière constitue un des exemples frappants de l'émission continue. Située dans le nuage obscur du Taurus, au voisinage de la nébuleuse « cométaire » B 10, cette étoile est de  $15^e$  grandeur, et son spectre, d'après sa luminosité, devrait correspondre au type K5 ou même plus avancé. Or, d'après STRUVE et SWINGS [15] ce spectre est tout à fait continu, sans raies d'absorption décelables. Tout se passe donc comme si les raies d'absorption éventuelles étaient voilées par une « émission continue ». On sait actuellement que cette étoile est variable, notamment à la suite des recherches de HOLOPOV [11], qui confirma la variabilité, suggérée par d'autres chercheurs, au moyen des clichés de Moscou. Selon HOLOPOV cette étoile est du type T Tauri.

STRUVE et SWINGS soulignent tout particulièrement l'intensité de la partie de courte longueur d'onde du spectre continu, qui donne à cette étoile, qui normalement aurait dû être rouge, une couleur bleue. Ce fait est si extraordinaire qu'on songe involontairement à la possibilité que cette étoile soit simplement une Naine Blanche. Toutefois la variabilité de l'étoile, ainsi que la présence des raies d'émission intenses, caractéristiques d'étoiles du type T Tauri, obligent immédiatement à renoncer à cette interprétation. D'ailleurs en plus de 14 raies d'émission de l'Hydrogène, le spectre de DD Tau présente des raies d'émission d'autres éléments. Remarquons également que DD Tau possède un compagnon qui est également du type T Tauri, phénomène tout à fait caractéristique des T Tauri, permettant d'exclure encore une autre hypothèse: celle de l'appartenance des deux étoiles au « fond général du ciel », se projetant sur la nébuleuse diffuse. C'est cela, et tous les arguments accumulés plus haut, qui conduisent AMBARCUMJAN à attribuer la couleur bleue de DD Tau à l'émission continue, supposée dans ce cas particulièrement intense dans le bleu.

Mais revenons à la nébuleuse « cométaire » B 10. Le caractère physique de la liaison entre B 10 et DD Tau est hors de doute du fait que les étoiles situées derrière B 10 sont presque entièrement invisibles, à cause de l'absorption intense dans le nuage obscur du Taurus, tandis que la probabilité d'une projection fortuite d'une étoile quelconque du « champ général » sur B 10 est inférieure à 0,1. La probabilité de la projection fortuite sur B 10 d'une étoile aussi extraordinaire que DD Tau est encore bien plus faible, quand on songe à la petitesse de B 10.

Or, selon STRUVE et SWINGS, la nébuleuse elle aussi possède un spectre continu. Mais en cherchant à vérifier la relation de Hubble ces auteurs ont découvert que pour éclairer, ne serait-ce que la partie visible de B 10, l'éclat (visuel) de DD Tau devrait être de 7 magnitudes supérieur à celui effectivement observé. Pour apprécier la signification de ce résultat, il ne faut pas perdre de vue que la couleur bleue de DD Tau exclut la possibilité d'un très fort affaiblissement par l'absorption interstellaire qui se serait manifestée également par un fort rougissement. On est ainsi conduit à renoncer à l'hypothèse d'une réflexion pure et simple et *admettre qu'on se trouve de nouveau en présence de ce mystérieux mécanisme qui se manifeste déjà dans le phénomène de l'émission continue.*

L'exemple de B 10 et de NGC 1555 nous révèle cependant une nouvelle propriété de ce mécanisme. En effet, comme les deux nébuleuses « cométaires » sont liées à des étoiles T Tauri, on est forcé d'admettre qu'en définitive c'est tout de même encore dans l'étoile qu'il faut chercher la cause du rayonnement de la nébuleuse. Donc, conclut AMBARCUMJAN, de nombreuses étoiles du type T Tauri sont capables de créer des conditions d'apparition de l'émission continue, non seulement dans les couches supérieures de leurs atmosphères, *mais aussi à une distance considérable, de l'ordre de quelques dixièmes de parsec.* De plus, l'intensité du facteur responsable de l'émission continue, semble varier de manière irrégulière, différente de la variation de l'éclat de l'étoile.

AMBARCUMJAN donne encore quelques exemples analogues: celui de la nébuleuse cométaire NGC 6729 liée à R CrA, pour laquelle on a des données de HUBBLE et de WHITNEY-WESTON [20]; celui d'une petite nébuleuse cométaire découverte par HARO [21], et décrite par lui sous le N. 13a dans la liste des « peculiar objects » se trouvant dans la région de la nébuleuse d'Orion. Dans la « tête » de cette nébuleuse se trouve une étoile infra-rouge très faible. La nébuleuse apparaît sur des photographies bleues, rouges et infra-rouges, mais l'étoile en question est si faible en bleu qu'elle disparaît entièrement sur les clichés bleus, est à peine visible sur les clichés rouges, et ne se voit bien que sur les clichés infra-rouges, tout en restant plus faible que la nébuleuse. L'hypothèse de la réflexion conduit dans ce cas à la supposition que la lumière de l'étoile subit dans la « tête » de la nébuleuse un rougissement si intense que l'étoile devient infra-rouge. Or, dans la région de la nébuleuse d'Orion on connaît un grand nombre d'autres objets infra-rouges aussi faibles. Il est donc plus naturel de supposer, selon AMBARCUMJAN, que la cause du rayonnement de la nébuleuse, en lumière bleue, *réside dans son propre rayonnement continu,* provoqué une fois de plus par ce « *facteur inconnu* » provenant de l'étoile, dont nous avons déjà décelé l'existence à propos de B 10 et de NGC 1555. Ce qui tendrait à confirmer cette interprétation, c'est que, selon HARO, la « queue » de la nébuleuse cométaire présente un spectre d'émission et n'est pas visible en lumière infra-rouge, ce qui exclut l'hypothèse de la réflexion pure et simple.

AMBARCUMJAN résume ses conclusions de la manière suivante: « Nous voyons donc que le rayonnement des nébuleuses cométaires s'explique, du moins en grande partie, comme *résultat de la libération directe dans le volume de la nébuleuse de l'énergie intrastellaire, transportée des couches internes de l'étoile dans la région de la nébuleuse par un certain mécanisme d'éjection* ».

D'ailleurs AMBARCUMJAN ne nie pas que dans certains cas on peut conserver l'explication classique par la réflexion, pourvu que l'étoile liée à la nébuleuse soit assez lumineuse pour remplir le rôle que lui attribue l'explication par la réflexion. Tel est le cas de NGC 2261, liée à R Mon. D'un côté les variations de l'éclat de la nébuleuse sont en mauvaise corrélation avec les variations de l'éclat de l'étoile, du moins en ce sens que l'*amplitude* des variations de la nébuleuse est beaucoup plus faible que l'amplitude des variations de l'étoile; en même temps que les variations de la couleur sont également en mauvaise corrélation (cf. GREENSTEIN, [22]). Et cependant la présence dans le spectre de la nébuleuse de raies d'émission qui correspondent à celles de l'étoile, parle en faveur d'une bonne dose de réflexion. En d'autres termes, la règle générale serait que le rôle de la lumière réfléchie augmente avec l'augmentation de la luminosité de l'étoile.

Une nouvelle indication sur le comportement du « facteur inconnu », c'est-à-dire une nouvelle piste, nous est fournie par l'observation suivante: *une seule et même étoile peut provoquer le rayonnement d'objets différents à des moments différents*. En effet, en 1868 OTTO STRUVE avait découvert à Pulkovo la nébuleuse NGC 1554, se trouvant à 3' de T Tauri, et cette nébuleuse n'a pu être observée que jusqu'à 1877, c'est-à-dire juste pendant la période d'invisibilité de la NGC 1555! On n'a pas réussi à l'observer après cette date, et elle reste invisible sur les meilleures photographies modernes. Voici donc une observation qu'il est tout à fait difficile d'expliquer dans l'hypothèse de la réflexion.

On peut remarquer également que dans tous les cas de variation des nébuleuses cométaires liées à des étoiles T Tauri, *les variations dans la nébuleuse demandent des intervalles de temps bien plus longs (de l'ordre des années) que des variations dans l'éclat des étoiles correspondantes*. Cela tendrait à indiquer que dans le cas des nébuleuses cométaires la portion de l'énergie libérée se dépense sous la forme du rayonnement bien plus lentement que dans les atmosphères stellaires.

D'ailleurs, aussi bien l'observation relative à NGC 1554 et 1555 que la forme de la plupart des nébuleuses cométaires, montrent que le « *facteur inconnu* » *provoquant le rayonnement, peut dans ce cas être directif*. Cette directivité peut s'expliquer d'une part par la direction de l'éjection de la matière intrastellaire et aussi par la distribution particulière de la matière autour de l'étoile.

AMBARCUMJAN termine cette pénétrante analyse des observations relatives aux « nébuleuses cométaires » en citant encore quelques exemples d'étoiles T Tauri ou XX Oph liées à des nébuleuses de ce type: BM And, RY Tau,



DG Tau, HK Ori. En même temps, il attire l'attention sur la possibilité d'observer dans des nébuleuses diffuses *brillantes*, contenant souvent des étoiles du type T Tauri, des nébuleuses cométaires associées.

#### 4.3. — Observation de « nébuleuses cométaires » dans les nébuleuses diffuses brillantes.

Pour montrer qu'il est possible, bien que très difficile, d'observer des « nébuleuses cométaires » dans des nébuleuses diffuses *brillantes*, AMBARCUMJAN cite quatre exemples, relatifs respectivement à IC 405, IC 410, la Nébuleuse d'Orion et NGC 7023.

a) IC 405. — A première vue il s'agit d'une nébuleuse diffuse tout à fait ordinaire. Cependant GREENSTEIN et HENYEV [23] ont découvert que son spectre n'est pas un spectre de raies pur, mais contient une partie continue. Cette observation vient d'être confirmée par GURZADJAN, d'après un cliché obtenu avec le spectrographe nébulaire de l'Observatoire de Bjurakan. D'autre part, GAZE [28] a montré que l'aspect et la structure de la nébuleuse en question sont très différents selon que le cliché est pris dans le domaine photographique ou en lumière  $H_\alpha$ . Ce dernier phénomène, considéré dans sa généralité, est tout à fait banal. Mais dans la plupart des cas il se réduit à une extension plus grande de la nébuleuse sur les clichés pris en  $H_\alpha$ ; ou, au contraire, à la mise en évidence de la composante « poussiéreuse » prolongeant la nébuleuse gazeuse, et se manifestant sur les clichés pris en lumière photographique, à cause du spectre continu correspondant.

Ici, au contraire, il s'agit d'un cas apparemment différent, car en lumière photographique, de l'étoile AE Aur, du type O, et considérée comme responsable de la fluorescence de la nébuleuse, il part un jet brillant assez nettement délimité, ayant la forme d'un arc, tandis que sur le cliché pris en lumière d'Hydrogène ce détail, pourtant le plus marquant de la nébuleuse, est absolument invisible.

Or, il ne semble pas d'autre part qu'il y ait lieu de supposer que le rayonnement de ce jet brillant soit dû aux raies d'émission autres que celle de l'Hydrogène. En effet, il s'agirait alors, probablement, de la raie 3727 de [OII]. Mais il est difficile de supposer que cette raie soit intense dans la partie du jet proche de AE Aur, où l'Oxygène devrait être ionisé deux fois presque complètement.

C'est pourquoi AMBARCUMJAN préfère admettre que le spectre du jet est en très grande partie continu et analogue au spectre des nébuleuses cométaires. Les observateurs devraient s'efforcer de contrôler cette prévision par des mesures aussi nettes que possible. D'ailleurs la ressemblance du jet en question

avec des nébuleuses cométaires réside non seulement dans le fait que le jet semble en quelque sorte « s'écouler de l'étoile » mais aussi dans le fait que l'étoile est variable. On trouvera des photographies de IC 405 dans l'*Atlas des nébuleuses diffuses* de ŠAJN et GAZE [24] et dans l'*Atlas des nébuleuses gazo-poussiéreuses* de FESENKOV et ROŽKOVSKIJ [25].

Comme d'autre part on ne connaît aucun cas d'illumination d'une nébuleuse formée de poussières par une étoile de type spectral O 9 placée dans son voisinage immédiat, force nous est de conclure que nous avons encore affaire à l'émission continue.

b) IC 410. — Cette nébuleuse contient l'amas NGC 1893, formé essentiellement d'étoiles de type O, et désigné par « amas O » dans la classification de MARKARJAN. Cet amas contient, selon SHARPLESS [27] cinq étoiles O, quelques BO et d'autres étoiles moins lumineuses. En particulier l'amas contient le système multiple compact (genre trapèze d'Orion) BD +33° 1026 et d'autres systèmes de même genre. Le diamètre de la nébuleuse dépasse un demi-degré. La forte densité de l'image en lumière  $H_\alpha$  (cf. les *Atlas* ci-dessus) indique que la plus grande partie du rayonnement est excitée par les étoiles chaudes que nous venons de mentionner.

Cependant la nébuleuse comprend également deux formations qu'on remarque immédiatement et qu'on peut considérer comme des « nébuleuses cométaires ». Dans la liste de ŠAJN et GAZE [28], elles portent les NN° S 129 et S 130. Elles sont longues, respectivement, de 5' et 7'. On les voit particulièrement bien sur la fig. 13d de la seconde partie de l'atlas de FESENKOV et ROŽKOVSKIJ.

Dans la « tête » de S 129 se trouvent 5 étoiles faibles. Dans la « tête » de S 130 il y a 4 étoiles dont la plus brillante n'est que de magnitude photographique 13,4; (cf. CUFFEY, [29]). Ces étoiles ne sont donc pas capables d'illuminer les nébuleuses cométaires correspondantes. Dans les deux cas la relation de Hubble est violée presque au même point que pour DD Tau-B 10. Ici encore le mystérieux « facteur inconnu » nous laisse un indice d'émission continue.

c) *Nébuleuse d'Orion*. — En plus de l'objet 13a de HARO, dont il a déjà été question plus haut, et qui, bien que se trouvant assez loin du « trapèze », appartient incontestablement à l'Association d'Orion, on trouve dans la Nébuleuse d'Orion encore quatre « objets » intéressants, qui se trouvent dans le voisinage du trapèze. Ce sont de petites nébuleuses découvertes également par HARO [21], sur des poses dans l'infra-rouge et désignées par 5a, 6a, 7a et 8a. Les objets 7a et 8a contiennent des étoiles infra-rouges très faibles, incapables d'illuminer entièrement les nébuleuses correspondantes. Quant à 5a et 6a, on n'y trouve même pas d'étoiles infra-rouges.

Or, malgré tout cela et malgré la proximité du « trapèze », ces objets émettent

*un spectre continu.* Ce rayonnement continu ne saurait provenir d'une illumination directe par les étoiles du « trapèze » ou des autres étoiles chaudes de l'Association d'Orion, car dans ce cas on ne comprendrait plus pourquoi ces « objets » ressortent surtout en lumière infra-rouge.

AMBARCUMJAN considère donc que dans ce cas encore il faut attribuer le rayonnement continu des « objets » de HARO à l'émission continue, en supposant que dans le cas des NN<sup>o</sup> 5a et 6a les étoiles responsables de l'émission continue sont trop faibles pour apparaître sur les clichés.

d) *Nébuluse NGC 7023.* — Cette nébuluse (cf. WESTON, [30]) contient un grand nombre d'étoiles variables du type T Tauri. Il est d'usage d'admettre qu'elle est éclairée par une certaine étoile située dans sa région centrale, étoile de type spectral B5. Or, selon ŠAJN et GAZE [28] la nébuluse en question est « partiellement formée d'Hydrogène ». Cela veut dire qu'à côté du spectre continu une partie de l'énergie est émise dans les raies d'Hydrogène et, probablement, d'autres éléments. Si le spectre continu provenait entièrement de la réflexion du spectre continu de l'étoile centrale on observerait une polarisation *radiale*. Or, comme l'a montré WESTON [31] il n'en est rien et les résultats de ses observations ne peuvent pas s'expliquer par une réflexion pure et simple de la lumière. Il est vrai que d'autres observateurs [32] trouvent, *en première approximation* une polarisation radiale, mais la réalité est bien plus complexe. Par conséquent on ne peut rien affirmer de définitif dans ce cas mais on peut présumer la présence de différentes « occlusions » donnant un rayonnement continu d'une autre nature.

Il résulte de tout ce qui vient d'être dit sur IC 405, IC 410, la nébuluse d'Orion et NGC 7023, que la nouvelle théorie d'Ambarcumjan devra inciter les observateurs à développer des investigations en spectre continu.

#### 4.4. — *Les « objets » de Herbig-Haro.*

On sait que l'étoile T Tauri, outre le voisinage de la nébuluse cométaire de Hind (NGC 1555), est entourée d'une enveloppe nébulaire de faible volume possédant un spectre de raies d'émission [33]. Ce spectre témoigne du *faible* degré d'ionisation dans l'enveloppe. Ainsi, au lieu de raies interdites d'Oxygène ionisé deux fois, entièrement absentes, nous trouvons ici le doublet interdit très intense 3727 de l'Oxygène ionisé une fois seulement. Les raies interdites du Soufre ionisé une fois sont également relativement intenses.

AMBARCUMJAN interprète ces observations de la manière suivante. Le rayonnement de T Tauri, même avec l'addition d'une émission continue, serait incapable de provoquer une forte ionisation de l'enveloppe. Cependant, le simple fait de l'existence de l'enveloppe serait *étroitement lié* à la « jeunesse » *présumée* de T Tauri.



Rappelons à ce propos qu'une des idées les plus fécondes du Prof. AMBARCUMJAN a consisté à envisager la formation « collective » des étoiles dans des Associations Stellaires, de deux espèces fondamentales: « Associations O » formées d'étoiles particulièrement chaudes et lumineuses et « Associations T » formées d'étoiles, ressemblant initialement aux étoiles variables du type T Tauri, et évoluant ultérieurement vers les naines de la série principale. Plus récemment encore AMBARCUMJAN [45] est remonté « plus haut » dans ses conceptions cosmogoniques, en introduisant la notion de *protoétoiles*, unités à partir desquelles, par différenciation successive, ont pu se former les étoiles des « Associations », unités formées d'un dense « fluide préstellaire ».

Or, T Tauri n'étant pas encore sortie de son « Association » primitive, et devant se trouver par conséquent encore très près de l'état préstellaire, toute particularité d'une telle étoile, ou d'étoiles analogues, pourrait constituer un nouvel indice de « jeunesse » et pourrait être liée à la présence d'un reste de « matière préstellaire », qui pourrait ainsi être étudiée même à l'heure actuelle.

C'est pourquoi AMBARCUMJAN attache une très grande importance à la découverte par HERBIG [34], non loin de la nébuleuse diffuse NGC 1999, de trois objets diffus très faibles, disposés approximativement en ligne droite. HERBIG étudia ces objets, et son étude a été poursuivie par HARO qui trouva que chacun de ces objets représente une étoile d'environ 18<sup>e</sup> magnitude *entourée d'une petite enveloppe nébulaire*.

L'enveloppe en question est assez brillante par rapport à l'étoile, et *le spectre de l'enveloppe rappelle le spectre de l'enveloppe qui entoure T Tauri*. De plus, comme l'a trouvé HARO, les étoiles centrales ont une couleur bleue qui rappelle celle de la variable DD Tau! Mais celle-ci, déjà citée à plusieurs reprises au cours de cet exposé, est aussi une étoile faible appartenant à l'Association du Taureau et manifeste d'une manière très nette diverses propriétés qu'on peut considérer comme un indice de « jeunesse ». En outre, d'après leur magnitude absolue les étoiles centrales des « objets de Herbig-Haro » sont très proches de DD Tau.

Ainsi l'extrême rareté de ces « objets », même dans l'Association d'Orion, qui contient pourtant un grand nombre d'étoiles du type T Tauri, la disposition en chaîne des trois « objets », sur une longueur inférieure à 5', soit environ un demi-parsec, (cf. les idées de FESENKOV sur la naissance des étoiles en chaînes [46]), leur basse luminosité absolue, et toute sorte d'autres particularités, conduisent AMBARCUMJAN à interpréter ces « objets de Herbig-Haro » comme des « stades très jeunes de l'évolution d'étoiles naissantes — devenant d'abord des étoiles T Tauri ».

#### 4.5. — *Les désintégrations nucléaires dans les couches extérieures des étoiles.*

Une des particularités de l'éjection hypothétique de la matière intrastellaire porteuse de l'énergie intrastellaire (considérée comme reste de la matière « préstellaire » dans les tréfonds de l'étoile), suivie d'interactions diverses dans les couches externes, est que la *libération de cette énergie*, après son arrivée à la surface, ressemble plus à une explosion qu'à une croissance progressive. Par contre le processus du rayonnement dans la partie optique du spectre, résultant des interactions avec les couches extérieures peut durer longtemps, parfois plusieurs jours.

AMBARCUMJAN se représente donc le tableau suivant: l'énergie de nature intrastellaire se dégage en un intervalle de temps très bref mais se transforme en une forme d'énergie intermédiaire, qui donne à son tour le rayonnement visible par une nouvelle transformation qui peut durer des minutes et des jours. Si l'énergie intrastellaire n'était pas libérée par son « porteur » quasi instantanément, on aurait assisté à une intensification *progressive* des « flares » des UV Ceti, par exemple.

Tout cela conduit AMBARCUMJAN à admettre qu'on a affaire ici à des processus du type « désintégration (fission) nucléaire », avec une durée de vie excessivement brève.

AMBARCUMJAN ne le dit pas, mais il est évident que l'ensemble de sa théorie est inspiré par l'existence de la « Bombe-A », à fission, à côté de la « Bombe-H », à fusion thermonucléaire. S'il en était ainsi, et si les idées d'AMBARCUMJAN se vérifiaient, nous assisterions à un des événements les plus curieux de l'histoire des sciences: le retour à l'astronomie de ce que la physique lui doit pour la « Bombe-H ».

Or, on connaît actuellement un assez grand nombre d'observations qui semblent indiquer qu'effectivement des fissions ont lieu non seulement dans les couches extérieures des étoiles variables, mais aussi dans les couches extérieures d'étoiles telles que le Soleil, comme l'avait déjà suggéré, il y a quelques années SAHA, qu'AMBARCUMJAN oublie de citer.

Ces observations sont relatives à la composition chimique et isotopique des atmosphères stellaires, et la plus importante d'entre elles est, sans conteste, de l'avis unanime de tous les astronomes, la découverte par P. MERRILL [39] d'intenses raies du Technetium dans les spectres de la plupart des étoiles du type S qu'il a pu observer.

On sait que l'instabilité des noyaux du Technetium (de l'isotope *connu* de celui-ci) aurait dû entraîner la disparition de celui-ci dans les atmosphères stellaires au bout d'une durée de l'ordre de cent mille ans. La durée de vie des étoiles étant beaucoup plus grande, on est conduit à admettre, que cet élément est *produit* dans les atmosphères où il s'observe. Et pourtant l'étude

approfondie de la question montre que pour la formation du Technetium à partir d'autres éléments, par exemple ceux du groupe du Fer, où à partir du Molybdène, il faut des *conditions exceptionnelles* qui ne sont pas réalisées dans les atmosphères stellaires, et qui sont invraisemblables même pour les régions profondes des étoiles. En outre, même si ces conditions étaient réalisées dans les régions centrales de l'étoile, la durée du transport du Technetium jusqu'à la surface, par convection, demanderait plus de temps que la durée de vie de cet élément.

Comment sortir de ce dilemme? AMBARCUMJAN propose d'admettre que le Technetium apparaît directement dans les atmosphères des étoiles ou dans les couches situées immédiatement au dessous de la photosphère, *par désintégration de la matière intrastellaire* dont il a été question à propos de l'« émission continue ».

AMBARCUMJAN invoque à l'appui de sa thèse la corrélation entre l'abondance en Technetium dans les étoiles S avec celle du Zirconium, qui résulte des travaux de MERRILL. Comme l'abondance considérable du Zirconium peut être considérée comme une propriété fondamentale des étoiles du type S, liée elle aussi à des processus nucléaires actuels, il est naturel d'admettre que l'apparition de Technetium n'est qu'un phénomène secondaire accompagnant la naissance de Zirconium.

Or, selon J. NASSAU (rapport présenté au cours de l'inauguration de l'Observatoire de Poulkovo en 1954) les *géantes du type S ont tendance à former dans la Galaxie des groupes analogues à des Associations*. Ces étoiles sont donc « jeunes ».

Si la formation des étoiles à partir des « protoétoiles » s'accompagne de la transformation progressive de la matière préstellaire en matière ordinaire, par désintégration nucléaire, la présence du Technetium et la grande abondance du Zirconium dans les étoiles du type S, doivent constituer une des indications sur la voie de formation des éléments.

Des données assez sérieuses obtenues par HUBENET, DE JAGER et ZWAAN [40] indiquent la présence d'une petite quantité de Technetium même dans le Soleil. Cela pose la question de la possibilité de production des éléments même sur le Soleil, par désintégration (fission) de matière « primaire ». Un grand nombre de faits militent, selon AMBARCUMJAN, en faveur de cette conception. Ce sont:

- 1) La présence du Lithium dans l'atmosphère solaire.
- 2) Les données semblant indiquer la présence du Deutérium [41].
- 3) La grande abondance du Béryllium sur le Soleil.

Récemment de nouvelles preuves de la présence du Deuterium sur le Soleil ont été obtenues à l'Observatoire de Crimée par SEVERNIJ [42].

Il ne faut pas oublier que jusqu'à présent il était admis qu'on pouvait expliquer tous ces faits en utilisant l'hypothèse (très artificielle selon AMBARCUMJAN) de l'absence de brassage (mixing) entre les couches centrales et super-



ficielles du Soleil. Cependant, l'hypothèse de la continuation des processus de désintégration nucléaire, rend toute naturelle la présence de ces éléments dans l'atmosphère solaire et peut expliquer la présence du Technetium, qui, elle, est absolument incompréhensible dans l'hypothèse de l'absence du brassage.

Il convient de remarquer que même sur le Soleil s'observe le phénomène d'éjection très brusque de notables quantités d'énergie (bien qu'à une échelle incomparablement plus faible que dans les étoiles variables étudiées ci-dessus) dans les *éruptions chromosphériques*: phénomène qu'il est difficile d'expliquer par des transformations d'énergie au sein même de la chromosphère et des couches immédiatement sous-jacentes. Notons aussi que les éruptions chromosphériques sont généralement accompagnées de « bursts » (intenses) de radio-rayonnement. La très faible durée de l'intervalle entre le début de l'éruption et le maximum de son intensité, et le comportement analogue de « bursts » de rayonnement radio, prouvent le caractère explosif de l'évolution de ce processus.

La très forte intensité du radio-rayonnement pendant ces « bursts » (ou plutôt « outbursts »), conduit à des températures tout à fait fantastiques si l'on adopte l'explication de la nature thermique de ce rayonnement. Il est donc beaucoup plus naturel d'adopter l'hypothèse de l'origine non-thermique de ce rayonnement.

Deux auteurs soviétiques: GUSEJNOV [43] et GORDON [44] ont proposé, en s'inspirant des travaux de SKLOVSKIJ, l'hypothèse des électrons relativistes dans des champs magnétiques solaires locaux, électrons qui seraient responsables à la fois des « outbursts » et des éruptions chromosphériques.

AMBARCUMJAN le mentionne en passant, mais ne cherche pas à préciser comment il envisage la liaison entre le processus d'éjection de la matière intrastellaire dans les couches extérieures et la formation éventuelle d'électrons très rapides (relativistes), qui seraient un nouvel intermédiaire entre la libération d'énergie intrastellaire et les rayonnements observés dans le Soleil, les UV Ceti et T Tauri. Il dit seulement qu'en ce qui concerne les deux derniers cas, il préfère ne pas introduire les électrons relativistes parce que l'on ignore s'il existe des champs magnétiques dans les atmosphères d'étoiles non stationnaires de ces types, et à plus forte raison on ignore les intensités et la structure de ces champs magnétiques éventuels.

## 5. — Caractère discret de l'éjection et de la libération de l'énergie intrastellaire.

Si l'on admet, avec AMBARCUMJAN, que dans de nombreuses étoiles non-stationnaires on se trouve en présence de libération de l'énergie intrastellaire, éjectée des couches profondes, et portée par la « matière intrastellaire », on peut se demander si l'on ne pourrait pas préciser davantage ce processus.

C'est ce que tente de faire AMBARCUMJAN, tout en insistant sur le caractère préliminaire, très général et très approximatif, de ses conclusions dans ce domaine, qui demanderaient selon lui, une étude très longue et très approfondie.

Il semble donc résulter de tout ce qui a été dit plus haut, et de certaines autres données d'observation (notamment celles relatives aux étoiles variables du type XX Oph, qui ne diffèrent des T Tauri, que par leur plus grande luminosité et des étoiles du type R CrB ou FU Ori) les particularités suivantes.

1) La libération de l'énergie intrastellaire dans les couches extérieures possède une caractère *discret*, et se produit par « grosses portions ».

2) Ce processus est pratiquement *instantané*. C'est ce que montre l'observation des cas les plus « purs »: ceux des « flares » des UV Ceti. Le fait que le rayonnement dans la partie visible du spectre n'est pas instantané mais dure quelques minutes pour les UV Ceti, quelques jours pour les T Tauri et quelques années pour les « Nébuleuses cométaires », ne contredit nullement cette affirmation, si l'on admet, avec AMBARCUMJAN, qu'avant de se transformer en énergie rayonnante, l'énergie intrastellaire passe par certains états intermédiaires, transitoires.

3) La libération de l'énergie « intrastellaire » s'accompagne de formation de *nouveaux noyaux*, en particulier de noyaux *instables*, soit naturellement, soit dans les conditions qui règnent dans les étoiles.

4) La grandeur des « portions » d'énergie libérée varie d'une étoile à l'autre, et pour une même étoile d'une libération à l'autre. Pour les étoiles du type UV Ceti le « quantum » libéré à chaque fois est de l'ordre de  $10^{33}$  à  $10^{34}$  ergs, tandis que pour les étoiles T Tauri, le « quantum » serait de l'ordre de  $10^{29}$  ergs. Dans les éruptions chromosphériques les « portions » d'énergie libérée sont incomparablement plus faibles.

Ces propriétés sont-elles vraies seulement pour les couches extérieures ou s'étendent-elles aux régions profondes des étoiles?

Le caractère discret semble s'étendre aux couches profondes dans les cas de Novae et de Supernovae. Il en est de même de l'instantanéité du processus dans ces deux cas.

Notons, en marge des considérations qui précèdent, qu'à la lumière des idées exposées ci-dessus, il est possible que les observations radioastronomiques sur les différentes vitesses de propagation des « bursts » de différente longueur d'onde, et semblant indiquer que le « facteur » excitant le rayonnement non thermique des « bursts » se propage avec des vitesses de l'ordre de quelques centaines de km par seconde, devraient être examinées avec la plus grande prudence, car il serait possible que le facteur véritablement primaire, responsable du « burst » se propage beaucoup plus rapidement. Les observations

seraient alors relatives en fait à la durée de la transformation d'une autre forme d'énergie en énergie des ondes radio, et ce processus pourrait être fonction de la densité du milieu, un milieu moins dense favorisant une transformation plus lente.

## 6. — Discussion.

Il est évident que les idées du Prof. AMBARCUMJAN, exposées avec le maximum d'exactitude dans les paragraphes qui précèdent, représentent un effort de très grande valeur. Elles rapprochent des faits jusque là considérés comme sans liaison, et suggèrent de nouvelles observations. Elles se présentent comme une antithèse des idées en cours, mais nous pensons qu'on ne saurait s'arrêter à cette antithèse, et qu'une synthèse est vraiment indispensable.

En effet, les accusations d'AMBARCUMJAN contre l'explication du débit d'énergie par des réactions thermonucléaires, ne doivent pas nous faire oublier que les étoiles « jeunes », autour desquelles gravite son « système d'explication », ne constituent qu'une infime minorité de l'ensemble des étoiles. Les étoiles sont en grande majorité stationnaires, du moins pour autant que nous puissions en juger par des observations accessibles actuellement à nos instruments. Ces étoiles « âgées » sont bien « sages » et leur équilibre mécanique exige que la gravitation soit compensée par quelque force antagoniste, qu'on ne peut concevoir que comme liée à une production d'énergie dans les régions centrales de l'étoile, comme EDDINGTON l'a montré il y a quelque 25 ans. Il faut donc admettre que le centre de l'étoile est à des températures de l'ordre de quelques millions de degrés, et alors on ne peut empêcher les réactions thermonucléaires de se produire.

Nous pensons donc qu'il ne s'agit pas tant de remplacer la fusion par la fission pour expliquer le débit d'énergie, que d'envisager, *en plus* des processus thermonucléaires (qui expliquent le débit d'énergie normal), des processus *additionnels* qui font appel, surtout dans les étoiles instables, à des réactions de « désintégration » nucléaire, réactions qui font peut-être intervenir des « macro-noyaux » de  $Z > 92$ .

Le reste de la discussion ne porte que sur des points de détail.

Il faut signaler, par exemple, que les conclusions de DE JAGER sur la présence du Deutérium dans le Soleil, sont bien plus prudentes que ne le laisserait supposer notre exposé, suivant AMBARCUMJAN. En fait, DE JAGER semble considérer la présence de cet isotope sur le Soleil comme extrêmement *peu* probable.

D'autre part, nous serions bien étonnés si les spectroscopistes responsables de la plupart des observations invoquées par AMBARCUMJAN en faveur de sa



théorie, n'étaient pas un peu surpris de la confiance qu'AMBARCUMJAN semble attacher à leurs mesures alors qu'eux mêmes insistent beaucoup sur les difficultés de celles-ci et sur de multiples incertitudes qui en résultent.

Nous mettons donc en garde nos lecteurs contre une acceptation trop dogmatique des vues que nous venons d'exposer, tout en étant convaincus qu'elles auront un effet extraordinairement stimulant aussi bien sur les astrophysiciens observateurs que sur les astrophysiciens théoriciens, qui trouveront dans les multiples contrôles qui se présentent immédiatement à l'esprit, une source d'inspiration et un fil conducteur précieux dans le dédale des faits en apparence indépendants.

\* \* \*

Qu'il nous soit permis, pour terminer, d'exprimer notre profonde gratitude au Prof. P. SWINGS qui a bien voulu prendre connaissance de cet exposé et suggérer les principales idées de cette discussion.

## 7. — Bibliographie.

Liste des abréviations utilisées dans la bibliographie pour les périodiques russes.

ABRÉVIATION	TRANSLITÉRATION DU TITRE RUSSE	TRADUCTION DU TITRE RUSSE.
<i>Astron. Žu. SSSR</i>	<i>Astronomičeskij Žurnal SSSR</i>	<i>Journal astronomique de l'URSS</i>
<i>Dokl. Akad. Nauk SSSR</i>	<i>Doklady Akademii Nauk SSSR</i>	<i>Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de l'URSS</i>
<i>Izv. Krym. Astrofiz. Obs.</i>	<i>Izvestija Krymskoj Astrofizičeskoj Observatorii</i>	<i>Contributions de l'Observatoire astrophysique de Crimée</i>
<i>Per. Zv.</i>	<i>Peremennye Zvezdy</i>	<i>Etoiles variables</i>
<i>Soobšč. Bjur. Obs.</i>	<i>Soobščeniya Bjurokanskoj Observatorii</i>	<i>Communications de l'Observatoire de Bjurakan</i>

## RÉFÉRENCES

- [1] S. CHANDRASEKHAR: *Radiative Transfer* (London, 1950).
- [2] V. KOURGANOFF et I. W. BUSBRIDGE: *Basic Methods in Transfer Problems* (London, 1952).
- [3] V. KOURGANOFF: *Quelques documents sur la structure de la Galaxie* (Paris, 1951).
- [4] V. A. AMBARCUMJAN: *Le phénomène d'émission continue et les sources de l'énergie stellaire*, publié dans les *Soobšč. Bjur. Obs.*, fasc. XIII (1954).
- [5] A. H. JOY and M. L. HUMASON: *Publ. Astron. Soc. Pacific*, **61**, 133 (1949).
- [6] P. E. ROQUES: *Publ. Astron. Soc. Pacific*, **65**, 19 (1953).
- [7] A. H. JOY: *Publ. Astron. Soc. Pacific*, **66**, 5 (1954).

- [8] A. H. JOY: *Astrophys. J.*, **102**, 168 (1945).
- [9] B. V. KUKARKIN et P. P. PARENAGO: *Obščij Katalog Peremennyh Zvezd* [*Catalogue général d'étoiles variables*], (Moscou-Léninegrad, 1948).
- [10] J. LEHMANN BALANOVSKAJA: *Per. Zv.*, **5**, 9 (1935).
- [11] P. N. HOLOPOV: *Per. Zv.*, **8**, 83 (1951).
- [12] A. H. JOY: *Astrophys. J.*, **110**, 424 (1949).
- [13] L. CERASSKAJA: *Astron. Nachr.*, **170**, 339 (1906).
- [14] G. H. HERBIG: *Publ. Astron. Soc. Pacific*, **60**, 256 (1948).
- [15] O. STRUVE et P. SWINGS: *Publ. Astron. Soc. Pacific*, **60**, 61 (1948). Voir aussi: O. STRUVE: *Stellar Evolution*, p. 109 (Princeton, 1950).
- [16] G. H. HERBIG: *Astrophys. J.*, **111**, 15 (1950).
- [17] P. P. PARENAGO: *Per. Zv.*, **7**, 169 (1950).
- [18] P. F. ŠAJN: *Astron. Nachr.*, **234**, 41 (1928).
- [19] G. H. HERBIG: *J. Roy. Astron. Soc. Canada*, **46**, 222 (1952).
- [20] W. T. WHITNEY et E. B. WESTON: *Astrophys. J.*, **107**, 371 (1948).
- [21] G. HARO: *Astrophys. J.*, **117**, 73 (1953).
- [22] J. L. GREENSTEIN: *Astrophys. J.*, **107**, 375 (1948).
- [23] J. L. GREENSTEIN et L. G. HENYEV: *Astrophys. J.*, **89**, 653 (1939).
- [24] G. A. ŠAJN et V. F. GAZE: *Atlas Diffuznyh Gazovyh Tumannostej* (Moscou, 1952).
- [25] V. G. FESEKOV et D. A. ROŽKOVSKIJ: *Atlas Gazovo-Pylevyh Tumannostej* (Moscou, 1953).
- [26] V. F. GAZE: *Izv. Krym. Astrofiz. Obs.*, **10**, 213 (1953).
- [27] S. SHARPLESS: *Astrophys. J.*, **119**, 334 (1954).
- [28] V. F. GAZE and G. A. ŠAJN: *Izv. Krym. Astrofiz. Obs.*, **9**, 52 (1952).
- [29] J. CUFFEY: *Harvard Ann.*, **105**, 403 (1937).
- [30] E. B. WESTON: *Astron. J.*, **58**, 48 (1953).
- [31] E. B. WESTON: *Astron. J.*, **57**, 28 (1952).
- [32] W. GLIESE et K. WALTER: *Zeits. Astrophys.*, **29**, 94 (1951).
- [33] G. H. HERBIG: *Astrophys. J.*, **111**, 11 (1950).
- [34] G. H. HERBIG: *Astrophys. J.*, **113**, 697 (1951).
- [35] G. HARO: *Astrophys. J.*, **115**, 572 (1952).
- [36] A. BLAAUW: *Bull. Astron. Inst. Ned.*, **11**, 405 (1952).
- [37] G. H. HERBIG: *Publ. Astron. Soc. Pacific*, **66**, 19 (1954).
- [38] I. S. ŠKLOVSKIJ: *Dokl. Akad. Nauk SSSR*, **90**, 983 (1953).
- [39] P. W. MERRILL: *Astrophys. J.*, **116**, 21 (1952).
- [40] H. HUBENET, C. DE JAGER et C. ZWAAN: *Les processus nucléaires dans les astres* publié dans les *Colloques de Liège*, p. 471 (Louvain, 1954).
- [41] C. DE JAGER: *loc. cit.*, p. 460.
- [42] A. B. SEVERNYJ: *Dokl. Akad. Nauk SSSR* (sous presse).
- [43] P. E. GUSEJNOV: *Thèse* (Erivan, 1953).
- [44] I. M. GORDON: *Dokl. Akad. Nauk SSSR*, **94**, 813 (1954).
- [45] V. A. AMBARCUMJAN: *Les processus nucléaires dans les astres*, publié dans les *Colloques de Liège*, p. 293 (Louvain, 1954).
- [46] V. KOURGANOFF: Supplément à l'*Astronomical News Letter* n. 73, à l'occasion du Colloque de Liège (Lille, 1954).
- [47] A. J. A. KIPPER: *Astron. Žu. SSSR*, **27**, 321 (1951). Voir aussi le travail indépendant de L. SPITZER and J. L. GREENSTEIN: *Astrophys. J.*, **114**, 407 (1951).

## Review of Recent Papers on Martensitic Transformations Published in the USSR.

B. S. LEMENT

*Division of Industrial Cooperation - Department of Metallurgy  
Massachusetts Institute of Technology - Cambridge, Mass.*

(ricevuto il 30 Gennaio 1954)

### CONTENTS

**1. Introduction.** — **2. Characteristics.** 1. General Characteristics in Steel. 2. Suppressibility. 3. Isothermal Transformation. 4. Stabilization. 5. Temperature Range of Martensite Formation. 6. Effect of Austenitizing Temperature. 7. Plastic Deformation. 8. Characteristics in Non-Steels. — **3. Mechanism of Transformation.** 1. Thermodynamic Considerations. 2. Nucleation. 3. Growth. 4. Magnitude of Atomic Displacement. 5. Rate of Growth. — **4. Comparison of Theories.** 1. Summary of Kurdjumov's Theory. 2. Fisher, Hollomon, Turnbull Theory. 3. Machlin, Cohen, Paranjpe Theory. — **5. Bibliography.**

---

### 1. — Introduction.

This review covers papers on martensitic transformations published in the USSR since 1948. An attempt has been made to summarize the important aspects of these papers and evaluate them in the light of work done in other countries on the same subject. The main source of USSR papers for this review was BRUTCHER (\*) translations. Although all of the recent USSR papers on martensitic transformations could not be obtained, it is believed that the available papers constitute most of these important work. In the comparison of the current theories of martensitic transformation contained

(\*) H. BRUTCHER: *Technical Translations*, P.O. Box 157, Altadena, California, U.S.A.



in this review, the author was assisted by the excellent summaries of DAS GUPTA (+) and of BUNSHAH (x) on this subject.

The symbols used in the equations presented in this review were selected to represent the same physical quantities throughout. This was done in order to maintain consistency, shorten the legends, and facilitate comparisons. Therefore the symbols used here may differ from those used in the same equation of the original reference.

## 2. - Characteristics.

### 2.1. - General Characteristics in Steel.

In a series of papers on non-diffusion transformations in alloys, KURDJUMOV [1-3] discussed in detail the general characteristics of martensitic transformations. For steels [1], the following characteristics of martensite formation were listed:

- 1) Transformation proceeds without change in concentration.
- 2) A definite lattice orientation relationship exists between martensitic and austenitic phases. Martensite forms as plates or laths, the habit orientation of which is irrational with respect to the austenitic lattice and displays considerable scattering. The microstructure of martensite is characterized by an acicular configuration.
- 3) Transformation takes place after considerable undercooling and extends over a wide temperature range. The amount of martensite formed is basically a function of the lowest temperature reached during cooling. Holding at constant temperature results in an increase in the amount of martensite; however, the isothermal transformation slows down and stops altogether.
- 4) Transformation cannot be suppressed by rapid cooling. The position of the martensite start point,  $M_s$ , is not a function of cooling rate but is determined by the chemical composition of austenite.
- 5) Formation of individual plates occurs practically instantaneously even at low temperatures. The total amount of martensite increases as a result of the formation of new plates rather than by the growth of old plates.

(+) S. C. DAS GUPTA: *Isothermal Transformation of Austenite to Martensite*, Doctorate Thesis, Department of Metallurgy, University of Notre Dame (January, 1952).

(x) R. F. BUNSHAH: *Rates of Martensite - Type Reactions Using Fast Amplifier Techniques*, in *Annual Summary Report*, Metals Research Laboratory, Carnegie Institute of Technology (June, 1952).

6) Plastic deformation above  $M_s$  can induce formation of martensite, the amount of which decreases with increasing temperature of deformation and becomes zero at a certain temperature. Plastic deformation below  $M_s$  results in additional transformation.

7) Other characteristics are that holding at temperatures above or below  $M_s$  affects the course of transformation, that more drastic quenches result in increased transformation, and that triaxial compression inhibits transformation.

## 2.2. — *Suppressibility.*

Although KURDJUMOV [1] listed insuppressibility as one of the characteristics of the austenite-martensite reaction in steel, he and MAKSIMOVA [4] reported that this reaction could be completely suppressed in a 0.6% C, 6% Mn steel. They claimed that no martensite formed after quenching this steel to room temperature and quickly cooling to  $-196^\circ\text{C}$  in liquid nitrogen, but that martensite formed isothermally on heating to temperatures above  $-196^\circ\text{C}$ . This claim encountered considerable skepticism due to the failure of KULIN and COHEN [5] to reproduce the phenomenon in a 0.6% C, 8.1% Mn steel. This steel was found to possess an  $M_s$  slightly above room temperature and no suppression of martensite formation was observed. Despite this work, the possibility remained that the reported composition of the steel investigated by KURDJUMOV and MAKSIMOVA was in error. However, other attempts made in the USA to reproduce the phenomenon using steels of varying carbon and manganese content also failed. Even VOROB'EV and GULJAEV [6] were not able to duplicate the phenomenon in a 0.9% C, 7% Mn steel.

On the other hand, it was reported by CECHE and HOLLOMON [7] that the austenite-martensite reaction could be suppressed by rapidly cooling a 73.3% Fe, 23% Ni, 3.7% Mn alloy to  $-196^\circ\text{C}$ , and that the reaction could proceed entirely isothermally. This alloy is almost identical in composition with one studied by KURDJUMOV and MAKSIMOVA [8]; however, these latter investigators reported the existence of an  $M_s$  of  $-17^\circ\text{C}$  for their alloy. To explain this discrepancy, CECHE and HOLLOMON [7] pointed out that the relatively slow cooling rate of 10  $^\circ\text{C}$  per minute used by KURDJUMOV and MAKSIMOVA may have allowed sufficient isothermal martensite formation on cooling, past  $-17^\circ\text{C}$  to simulate the occurrence of a  $M_s$  point.

## 2.3. — *Isothermal Transformation.*

A study of the kinetics of the austenite-martensite reaction at subzero temperatures in a 0.6% C, 6% Mn steel and a 1.6% C plain carbon steel was

made by KURDJUMOV and MAKSIMOVA [4]. In the 0.6% C, 6% Mn steel which was reported to be entirely austenitic at  $-196^{\circ}\text{C}$ , raising the temperature above  $-196^{\circ}\text{C}$  and holding was found to result in isothermal transformation in the range of about  $-159$  to  $-80^{\circ}\text{C}$ . Isothermal transformation also occurred after direct cooling to and holding at temperatures in this range. An initial period of constant rate of transformation followed by a gradual decrease in rate with continued holding was found to take place. The maximum initial rate of this reaction occurred at about  $-140^{\circ}\text{C}$ . In the 1.6% C plain carbon steel, about 20% martensite formed as a result of quenching to room temperature. On holding at various subzero temperatures, this steel was found to behave similarly to the 0.6% C, 6% Mn with respect to isothermal transformation.

The occurrence of isothermal transformation in relatively large amounts as reported by KURDJUMOV and MAKSIMOVA [4] was considered surprising. Isothermal formation of martensite had been observed in tool steels by FLETCHER, AVERBACH and COHEN [9, 10]; however, since, only a small amount of martensite formed in this fashion, these investigators considered isothermal transformation to be merely the very end of the main cooling transformation. The report that isothermal transformation can be a major effect in some steels stimulated the search for a more comprehensive theory of martensitic transformations.

A study was made of isothermal transformation in a 0.9% C, 7% Mn steel by VOROB'EV and GULJAEV [6]. Quenching and subcooling this steel to  $-183^{\circ}\text{C}$  resulted in the formation of about 2% martensite, but no isothermal transformation occurred on further holding at  $-183^{\circ}\text{C}$ . Tempering for 15 minutes at  $300^{\circ}\text{C}$  prior to subcooling did not affect the amount of martensite that formed on subcooling to  $-183^{\circ}\text{C}$ . By tempering 30 minutes at  $500^{\circ}\text{C}$ , the  $M_s$  was raised to above  $300^{\circ}\text{C}$  and about 75% martensite formed on subsequent subcooling to  $-183^{\circ}\text{C}$ . However, no isothermal transformation occurred on holding at this temperature. By tempering 6 minutes at  $710^{\circ}\text{C}$ , the  $M_s$  was raised to about  $20^{\circ}\text{C}$  and about 30% martensite formed on cooling to  $-183^{\circ}\text{C}$ . On stepped heating from this temperature, isothermal transformation was found to occur in a fashion similar to that described by KURDJUMOV and MAKSIMOVA [4] and an additional 20% of martensite formed. On the basis of these experiments, it was concluded that isothermal transformation occurs only in steels that possess an  $M_s$  at or below room temperature.

Isothermal transformation was also studied by KURDJUMOV and MAKSIMOVA [11] in a 0.8% C, 2.2% Mn steel with an  $M_s$  above room temperature. Isothermal curves were determined from the  $M_s$  point of  $155^{\circ}\text{C}$  down to  $-196^{\circ}\text{C}$ . The initial rate of transformation in the neighborhood of  $M_s$  was found to be low but increased with decrease in temperature below  $M_s$  down



to about 20 °C. In the range of about +20 °C to -50 °C, no isothermal transformation could be observed. Below -50 °C, the initial rate of transformation decreased with lowering of temperature. It was concluded that isothermal transformation actually took place in the range of 20 to -50 °C but that the rate was too rapid to be observed.

The results of this investigation contradict the conclusion of VOROB'EV and GULJAEV [6] that isothermal transformation only occurs in steels possessing a  $M_s$  below room temperature. Likewise, AVERBACH and COHEN [10] had found that isothermal transformation occurs in plain carbon and ball bearing steels with  $M_s$  points above room temperature.

A study was made of isothermal transformation in a Fe, 23% Ni, 3.4% Mn alloy by KURDJUMOV and MAKSIMOVA [8]. It was found that although a small amount of martensite formed during subcooling this alloy, the major portion of transformation occurred on holding at a constant temperature. A maximum in the initial rate of isothermal transformation was found to occur at about -18 °C. The formation of small quantities of martensite isothermally above the  $M_s$  temperature (-17 °C) as determined by continuous cooling at 10 °C per minute was reported. This phenomenon was also reported to occur in a 75% Fe, 14% Cr, 9% Ni, 1% Mn alloy by KULIN and SPEICH [12].

CECH and HOLLOMON [7] investigated an iron-nickel-manganese alloy of approximately the same composition reported by KURDJUMOV and MAKSIMOVA [8], and found a similar behavior. However, the temperature of maximum initial rate of isothermal transformation was found to be 80 °C lower in the alloy investigated by CECH and HOLLOMON. These investigators attributed the discrepancy to an error in the composition of the alloy reported by KURDJUMOV and MAKSIMOVA; however, it is possible that small differences in the manganese content may have large effects.

#### 2.4. - Stabilization.

Stabilization by interrupted or retarded cooling is another characteristic of the austenite-martensite reaction in steel. BOGAČEVA and SADOVSKIJ [13] carried out an investigation of the effect of holding above and below the  $M_s$  in 0.8% C, 4.5% Mn, 3.7% Ni steel; 0.8% C, 15.2% Cr steel; 0.8% C, 6.5% Cr, 8.1% Ni steel; 0.8% C, 16% Ni steel; and in a 70% Fe, 30% Ni alloy. It was found that stabilization did not occur on holding steels above  $M_s$ , but readily occurred below  $M_s$ . This contradicts the work of KLIER and TROIANO [14], and ŠTEINBERG [15] who found stabilization to occur on holding above  $M_s$ . It was also found by BOGAČEVA and SADOVSKIJ that stabilization did not occur either above or below  $M_s$  in the 70% Fe, 30% Ni alloy, thus indicating that the presence of carbon is required for stabilization. The belief

was expressed that the maximum temperature,  $\sigma_s$ , at which stabilization will occur in a given steel coincides with  $M_s$ ; however, the work of COHEN and HARRIS [16] indicated that  $\sigma_s$  can be below  $M_s$ . It was hypothesized by BOGAČEVA and SADOVSKIJ that stabilization may be connected with relaxation of residual stresses and therefore should be affected by specimen dimensions.

An investigation by DAS GUPTA and LEMENT [17] of the identical heat of 0.7% C, 15% Cr steel for which stabilization above  $M_s$  was reported by Klier and TROIANO [14] failed to reproduce this phenomenon. Similarly, MORGAN and KO [18] reported stabilization above  $M_s$  in iron-nickel-carbon alloys, and later KO and EDMONSON [19] failed to reproduce this phenomenon using the identical alloys. The failure to check this phenomenon in these two cases cast doubt as to whether it actually occurs. However, CECCH and HOLLOMON [7] recently reported the occurrence of stabilization above  $M_s$  in an iron-nickel-manganese alloy containing about 0.05% C. Stabilization was manifest by a decrease in the rate of subsequent isothermal transformation in specimens cooled below a certain temperature, rather than by a decrease in the  $M_s$  point.

Another study of stabilization was made by PETROSJAN [20], who investigated eight tool steels with the aid of a sensitive magnetometer that registered formation of martensite both during isothermal holding and subsequent cooling. The temperature lag due to stabilization was found to increase with decreasing temperature of isothermal holding below  $M_s$ , pass through a maximum, decrease again, and finally sharply increase with further decrease in holding temperature. It was also noted that isothermal transformation occurred in a certain temperature range below  $M_s$ . The amount of martensite that formed isothermally increased to a maximum with decreasing temperature and then fell to zero at a temperature designated as  $T_k$ . A definite relation was found between the amount of isothermal transformation and the magnitude of the temperature lag on subsequent cooling due to stabilization. The maximum and minimum amount of lag was found to correspond in temperature to the maximum and minimum amount of isothermal transformation down to  $T_k$ . The significance of these results was not discussed.

## 2.5. - *Temperature Range of Martensite Formation.*

The effect of alloying elements on the temperature range of martensite formation was investigated by VOROB'EV and GULJAEV [21]. Steels of two carbon levels, 0.6 and 1%, with variations in manganese, nickel and chromium up to 8% and molybdenum up to 1% were studied. Using a magnetic method, these investigators claimed that the martensite finish temperature,  $M_f$ , based

on the formation of 99% martensite could be determined with almost the same accuracy as the  $M_s$  point based on the formation of 1% martensite. The claim of such accuracy for determining  $M_f$  was disputed in an editorial note [21] on the basis that  $M_f$  depends on cooling rate and also because it is usually determined at a position where the transformation curve is very flat.

VOROB'EV and GULJAEV observed small amounts of initial martensite formation, under 1%, over a considerable range of temperature above what would ordinarily be considered the  $M_s$  point. This was interpreted to contradict the martensite range curves of HARRIS and COHEN [16], which indicated that the transformation begins sharply; however, it was admitted that extension of the initiation of transformation may have been due to a small amount of decarburization on the surface of the specimens. The increase of transformation with decrease in temperature was found to be a maximum when about 10% martensite formed in all the steels studied. Beyond this point, the transformation curve became progressively less steep and asymptotically approached  $M_f$ . An approximate linear relation was found between alloy content and decrease in  $M_s$ . The order of effectiveness of alloying elements in decreasing  $M_s$  was found to be manganese, chromium, nickel, and molybdenum. These alloying elements were also found to lower  $M_f$ , but this effect was less than on  $M_s$ . Since the steels studied possessed  $M_f$  points below room temperature, the width of the martensite range curve decreased with alloy content. For low carbon steels in which the entire transformation range occurs above room temperature, alloying elements are believed by VOROB'EV and GULJAEV to broaden the range of martensite formation.

VOROB'EV and GULJAEV [6] in an investigation of 10 industrial types of steel found that the retained austenite content in the as-quenched condition and the increase in both martensite content and hardness on subsequent cooling to  $M_f$  depended on the position of the  $M_s$  point rather than which particular alloying elements are present. All three quantities were found to increase with decrease in  $M_s$ .

## 2.6. - *Effect of Austenitizing Temperature.*

It had been generally assumed by investigators in the USSR that both the  $M_s$  point and the quantity of austenite retained after quenching to room temperature are independent of austenitizing temperature provided that a steel is quenched from the completely austenitic phase region and the austenitic grain size is maintained constant. However, HARRIS and COHEN [16] reported that the amount of retained austenite in a 1.2% C, 5.3% Ni steel varied reversibly with austenitizing temperature in the austenitic range and attributed this effect to clustering of carbon atoms within the austenitic solid solution.



In order to check HARRIS and COHEN's findings, SADOVSKIJ and BOGAČEVA [22] carried out similar experiments on a 1.2% C, 6% Ni steel. They found that this steel contained considerable graphite after forging and spheroidize annealing. All of the carbide originally present dissolved on heating above 845 °C; however, the coexisting graphite only partially dissolved. The graphite continued to dissolve with increase in temperature above 845 °C, but re-precipitated on cooling back to this temperature. The amount of retained austenite was found to depend on the amount of carbon actually in solution. It was therefore concluded that the phenomenon reported by HARRIS and COHEN [16] was due to reversible solubility of graphite rather than to the effect of austenitizing temperature per se.

### 2.7. — *Plastic Deformation.*

The effect of plastic deformation on the austenite-martensite reaction in steel was studied by KURDJUMOV, MAKSIMOVA, and TAGUNOVA [23]. It was reported that 2-3% plastic deformation carried out at 20 °C by compressing a completely austenitic 0.6% C, 7% Mn steel and an iron, 23% Ni, 3.4% Mn alloy did not result in any transformation. However, the  $M_s$  point of the manganese steel was found to be lowered by 20-25% and the amount of transformation obtained on subsequent subcooling is decreased for both the manganese steel and iron alloy. As the amount of deformation was increased beyond 5-10%, the amount of transformation at room temperature increased and subsequent transformation on cooling became more and more sluggish. With 25-30% deformation, the formation of 10 to 20% martensite occurred in both the manganese steel and iron alloy. On subsequent cooling below room temperature, the amount of transformation was cut to one-third in the manganese steel and one-tenth in the iron alloy as compared to what was obtained without prior deformation. The combination of plastic deformation and cooling resulted in less total martensite than obtained by cooling without prior transformation. With 50 to 70% deformation, transformation on further cooling ceased; however, the amount of martensite formed approximated that obtained by cooling without prior deformation. In the iron alloy, it was found that prior deformation slowed down the rate of isothermal formation of martensite at all temperatures. However, isothermal transformation at a given temperature was found to last for a longer time than was the case without prior deformation.

The results obtained by KURDJUMOV, MAKSIMOVA, and TAGUNOVA [23] appeared to contradict what MAKSIMOVA and NIKONOROVA [24] believed to be the effect of plastic deformation on the austenite-martensite reaction. They reasoned that plastic deformation should facilitate the transformation because

of an increase in number of potential points for the formation of martensite nuclei even at small amounts of deformation. At the same time they pointed out that plastic deformation could diminish the reaction by formation of slip lines tending to limit the coherent growth of martensitic crystals. Since this retarding effect should increase with amount of deformation, the transformation should only be retarded at high degrees of deformation. On the contrary, light amounts of deformation should result in increased martensite formation. In order to clarify the situation, a further study of the effect of plastic deformation was carried out by MAKSIMOVA and NIKONOROVA [24]. This was done by first compressing specimens of a 0.5% C, 23.5% Ni steel; 1.0% C, 2.7% Mn steel; and a 0.6% C, 17.5% Ni steel at room temperature and next following the transformation on cooling. It was found that even very small amounts of prior plastic deformation increased the amount of martensite throughout the temperature range of formation. The cooling transformation after prior deformation was found to exhibit a maximum at an amount of deformation which did not cause transformation under load at 20 °C and which decreased with increase in the  $M_s$  point. For the 0.5% C, 23.5% Ni steel with a  $M_s$  point of -90 °C in the undeformed condition, the  $M_s$  point increased with amount of plastic deformation; whereas in the two other steels with initial  $M_s$  points near 0 °C, the  $M_s$  point decreased with deformation. Thus, it appeared that the lower the  $M_s$  of a steel in the underformed condition, the more likely that the  $M_s$  would be raised by plastic deformation. With relatively high deformations, the amount of transformation on subsequent cooling diminished in all three steels. These findings appeared more in line with what had been predicted by MAKSIMOVA and NIKONOROVA. That plastic deformation can raise  $M_s$  was also reported by MACHLIN and COHEN [25] and by KULIN, COHEN, and AVERBACH [26]. In addition, these latter investigations [26] found that stresses within the elastic range can raise  $M_s$ .

A study was made by PROSVIRIN [27] of the effect of plastic deformation in compression carried out within the range of martensite formation in a 0.34% C, 11% Cr, and 3.9% Si steel with a  $M_s$  point of 75 °C; and which formed 27.30% martensite on quenching to 15-20 °C. A deformation of only 0.2% at 25 to 60 °C was found to increase the martensite content by as much as 35-40%. On cooling below the temperature of deformation, the transformation was found to proceed only to a slight extent. Thus, deformation within the martensite range strongly accelerated transformation during deformation, but stabilized the remaining austenite during subsequent cooling. Deformation carried out at 100 and 200 °C resulted in immediate formation of martensite but in smaller quantities than below  $M_s$ . However, subsequent cooling from above  $M_s$  resulted in a marked increase in the quantity of martensite formed. On the other hand, cooling under a triaxial pressure of 170 kg/mm<sup>2</sup> resulted in negligible additional transformation. Even when the pressure was removed,

there was no return to the status obtained by cooling under ordinary pressure.

Similar experiments were carried out on a 18-4-1 high speed steel which was found to possess about 26% retained austenite after quenching from 1250 °C. After tempering at 600 °C, the  $M_s$  of the retained austenite was found to be 210 °C. Deformations up to 0.5% at 20 °C and at 200 °C preceding tempering at 600 °C were found to increase  $M_s$  by 40 and 60 °C respectively. Deformations up to 1% carried out at temperatures up to 500 °C were found to increase the  $M_s$  point of the retained austenite by an amount that increased with temperature of deformation. Application of a triaxial pressure of 170 kg/mm<sup>2</sup> was not found to perceptibly change the  $M_s$  point.

## 2.8. - *Characteristics in Non-Steels.*

KURDJUMOV [1-3] pointed out that transformations with characteristics similar to the austenite-martensite reaction in steel occur in pure metals such as zirconium and cobalt and in alloys such as copper-aluminium, copper-tin, and copper-zinc. In copper-aluminium alloys, martensitic transformations were observed over almost the entire range of concentration of the  $\beta$ -phase; in copper-tin alloys, up to about 26% Sn; and in copper-zinc alloys, over a narrow range of from about 38 to 42% Zn. In the copper-aluminium and copper-zinc systems, the martensitic phase was found to possess a crystal structure which depended on the composition of the parent  $\beta$ -phase. On cooling the  $\beta$ -phase of both copper-aluminium and copper-zinc alloys through a temperature range above  $M_s$ , an ordering reaction occurred prior to the martensitic transformation. The martensitic phases that resulted on further cooling were likewise found to be ordered. Depending on its concentration, the ordered  $\beta$ -phase of the copper-aluminium system transformed into one of two ordered martensitic phases.

The martensitic transformations in non-steels were reported by KURDJUMOV [2] to be reversible. The reverse transformations displayed the same characteristics as martensitic transformations on cooling. However, the reverse transformation was not found to occur immediately on heating. A hysteresis lag of over 100 °C, independent of heating rate, was found to occur in several non-ferrous alloys before the reverse transformation began. On completion of the reverse transformation, the initial condition and lattice orientation of the high temperature phase was restored. Repeated cycles of heating and cooling did not affect the reversibility of the martensitic reaction in these alloys.

An important feature of martensitic transformations in non-steels is considered by KURDJUMOV to be the marked dependence of growth on temperature. This led to his concepts of «thermoelastic equilibrium» and «elastic»



crystals of martensite. A study was made by KURDJUMOV and HANDROS [28] to confirm the existence of «elastic» crystals of martensite. The method used in these experiments was to observe the transformations on cooling and heating under a microscope. In a copper-tin alloy containing 25% tin, martensite formed on cooling but did not disappear on heating back to room temperature. In a copper-aluminum-nickel alloy containing 14.5% Al and 1.5% Ni which consisted of the  $\beta_1$ -phase in the as quenched condition, transformation of  $\beta_1$  martensitic  $\gamma'$  occurred on cooling below about 10 °C. During slow cooling, increased formation and gradual growth of crystals in the form of both long parallel streaks and wedges were observed. If cooling was stopped, growth ceased; if cooling was resumed, growth continued unless neighboring martensite crystals or grain boundaries were encountered. On heating, the  $\gamma'$  crystals decreased in size and eventually disappeared. The very crystals that were the last to form on cooling, became the first to disappear on heating. In order to complete the reverse transformation, it was found necessary to heat to a somewhat higher temperature than the  $M_s$  point (10 °C) determined on cooling.

### 3. — Mechanism of Transformation.

#### 3.1. — Thermodynamic Considerations.

According to KURDJUMOV [3, 4] a martensitic phase should not be considered as merely a supersaturated or transitional solid solution, but more generally as a crystalline modification of a supercooled solid solution. There may or may not be a martensitic transformation of a solid solution of a given composition depending on whether there exists another lattice possessing a smaller free energy at a lower temperature. Martensitic transformations may be considered analogous to phase transformations of one component systems in the solid state. This infers the existence of an equilibrium temperature,  $T_0$ , at which the free energies of the crystal modifications are equal. Thus if the temperature is above  $T_0$  and no diffusional processes occur, the austenitic or high temperature phase is stable; whereas if the temperature is below  $T_0$  and no diffusional processes occur, the martensitic or low temperature phase is stable. The actual temperature at which transformation occurs on cooling or heating is generally lower or higher than  $T_0$  due to the occurrence of supercooling or superheating effects respectively.

3.2. — *Nucleation.*

The analogy with a one-component system further led KURDJUMOV [3] to believe that martensite transformations occur by the processes of nucleation and growth similar to all other transformations. This concept made it possible for him to take advantage of equations developed for crystallization in liquids of one component systems. KURDJUMOV reasoned that due to the randomness of thermal motion, fluctuations in the packing of atoms in the austenitic lattice could occur and momentarily result in certain localized regions having the packing of the martensitic phase. On cooling below  $T_0$  such regions could act as nuclei of martensite; however, nuclei which grow must have dimensions which exceed a critical size that depends on the degree of undercooling,  $\Delta T$ . With a small  $\Delta T$ , the size of the critical nucleus is large and the probability of nuclei formation is correspondingly small. When  $\Delta T = T_0 - M_s$ , an appreciable number of nuclei exceeding the critical size are present to result in measurable transformation.

In analogy with crystallization in liquids, the rate of nucleation of martensitic crystals is given approximately by the following equation:

$$(1) \quad N = K \exp [-W_c/kT] \exp [-U/kT],$$

where  $N$  = rate of nucleation,

$W_c$  = activation energy for formation of a nucleus,

$U$  = activation energy for growth of a nucleus,

$K$  = temperature independent coefficient,

$k$  = Boltzmann's constant.

$T$  = absolute temperature.

The value of  $W_c$  is very high near  $T_0$  and falls off rapidly below  $T_0$ . The sharpness of  $M_s$  depends on the variation of the function  $\exp [-W_c/kT]$  as  $\Delta T$  increases.

KURDJUMOV points out that although holding below  $M_s$  results in a rapid decrease in rate of nucleation with time, this would not be expected on the basis of equation (1). The transformation seems to behave as if the number of nuclei of a given size which are able to form in a given volume at a fixed temperature is limited. The reason for this behavior is believed to lie in the occurrence of fluctuations in concentration which are «frozen» in by supercooling. Since  $T_0$  decreases with increase in concentration, the activation energy for nucleation should be smaller in depleted regions. Such regions will

be the first to transform, but the transformation will come to a stop as soon as these regions are used up.

The work of formation,  $W$ , of a martensitic nucleus is assumed to be given by the following equation:

$$(2) \quad W = -V\Delta F_v + S\sigma + E,$$

where  $\Delta F_v$  = Volume free energy change,

$V$  = Volume of martensite,

$\sigma$  = Interfacial energy per unit area,

$S$  = Total interfacial area between austenite and martensite,

$E$  = Total elastic strain energy.

For the formation of a martensitic plate with edge dimensions  $L \times L$  and thickness  $H$ , equation (2) becomes the following [29]:

$$(3) \quad W = -\Delta F_v L^2 H + 2\sigma_1 L^2 + 4\sigma_2 LH + E,$$

where  $\sigma_1, \sigma_2$  = Interfacial energy per unit area at  $L \times L$  and  $L \times H$  faces respectively.

From this relation, the maximum work of formation (activation energy for nucleation) and the critical dimensions of stable martensitic nuclei can be determined in terms of  $\Delta F_v, \sigma_1, \sigma_2, E$ . The existence of a large strain energy,  $E$ , which is independent of temperature is believed to account for the supercooling associated with the start of martensitic transformations.

Inasmuch as the growth of a martensite plate is rapid, KURDJUMOV considers that the rate of transformations is determined by the rate of nucleation. Assuming that the mean size of a martensite plate forming during the initial stage of transformation is constant and that the initial rate of transformation is proportional to the maximum volume of martensite that can form on holding at a given temperature, the following relation was employed [3]:

$$(4) \quad \left( \frac{dV}{dt} \right)_{t=0} = NvV'_0,$$

where  $V$  = Volume of martensite formed at time  $t$ ,

$V'_0$  = Maximum volume of martensite that can form at a given temperature,

$v$  = Mean initial volume of individual martensite crystals (assumed independent of temperature).



Combining with equation (1) gives the following expression for the (relative) rate of transformation [3]:

$$(5) \quad \frac{1}{V_0} \left( \frac{dV}{dt} \right)_{t=0} = Kv \exp \left[ - \frac{W_c + U}{kT} \right]$$

and in logarithm form [3]:

$$(6) \quad \ln \left[ \frac{1}{V_0} \left( \frac{dV}{dt} \right)_{t=0} \right] = \ln Kv - \left[ \frac{W_c + U}{kT} \right].$$

From their study of a number of steels, KURDJUMOV and MAKSIMOVA [30] were also able to determine a value of approximately  $10^{-2} \text{ s}^{-1}$  for  $Kv$ . Assuming the average size of the initial martensitic crystal to be  $10^{-10} \text{ cm}^3$ , this gave a value of  $10^8 \text{ s}^{-1} \text{ cm}^3$  for  $K$ . This value is lower than  $K$  for the case of spontaneous crystallization of liquids,  $10^{24}$  to  $10^{26} \text{ s}^{-1} \text{ cm}^3$ , established by DANILOV [31]. However,  $K$  may be less than  $10^{10}$  for the crystallization on insoluble dispersed particles of admixtures; which indicates that martensite may nucleate at certain special regions in austenite instead of at random.

KURDJUMOV and MAKSIMOVA [8] believe that  $W_c$  decreases sharply with decrease in temperature below  $T_0$  and may become essentially zero at a temperature considerably above absolute zero. With the added assumption that  $U$  is essentially constant, equation (6) indicates that a maximum initial (relative) rate of transformation should occur approximately at the temperature at which  $W_c$  becomes zero. Using the experimental results for their iron-nickel-manganese alloy, KURDJUMOV and MAKSIMOVA [8] were able to calculate the decrease in  $W_c$  with decrease in temperature. The value of  $W_c$  was found to be 1400 cal/mol at 0 °C, 700 cal/mol at -30 °C, 100 cal/mol at -40 °C, and zero at -50 °C. Below -50 °C, the initial (relative) rate of transformation was found to decrease in accordance with a constant value of activation energy for growth,  $U$ , equal to about 600 cal/mol.

The value of  $U$  for an iron-nickel-manganese alloy was shown by KURDJUMOV, MAKSIMOVA, and TAGUNOVA [23] to be unaffected by prior plastic deformation carried out at room temperature. However, plastic deformation was believed to result in an increase in the value of  $K$  of equation (6) by increasing the number of potential nuclei.

KURDJUMOV and MAKSIMOVA [30] report that investigation of a number of steels showed merely an increase in the transformation rate with increasing temperature. Plots of the logarithm of the initial (relative) rate versus the reciprocal of the absolute temperature gave only a single straight line instead of two intersecting branches as for their iron-nickel-manganese alloy [8]. In the steels in which a maximum initial (relative) rate of transformation was not found, isothermal formation of martensite died out more rapidly the higher

the temperature. Above  $-50^{\circ}\text{C}$ , isothermal transformation was apparently completed so rapidly that it could not be observed. The value of  $U + W_c$  for these steels was found to be of the order of 1000 cal/mol. It was assumed that  $W_c$  is small compared to  $U$  in the temperature range over which isothermal transformation could be measured.

For determining the kinetics of martensite formation in the 0.6% carbon 6% manganese steel, a modification of equation (4) was used by KURDJUMOV and MAKSIMOVA [4]:

$$(7) \quad \frac{dV}{dt} = Nv(V'_0 - V).$$

This relation was found to hold up to « half-transformation » on the assumption of constant  $N$ . A plot of the log initial rate of transformation versus the reciprocal of the absolute temperature was found to be linear and measurement of the slope gave a value of 1600 cal/mol for the activation energy of the process. The significance of this activation energy was not explained.

### 3.3. - *Growth.*

Based on the observed characteristics of martensitic transformations in steel, KURDJUMOV had previously concluded that the transformation of austenite to martensite does not occur by nucleation and subsequent growth of martensitic crystals, but instead consists in a regular instantaneous transformation of the lattice similar to the formation of mechanical twins. In line with this conception, the underlying transformation mechanism was described as a series of shears on definite crystal planes which result in the observed lattice and habit orientations.

Because of recent information obtained with respect to martensitic transformations in non-steels, this conception underwent considerable change. KURDJUMOV [3, 4] now believes that a martensitic transformation consists of a regular lattice change in which atoms do not exchange places but merely undergo mutual shifts over distances not exceeding the interatomic spacing. Transformation proceeds by the spontaneous formation of nuclei and their subsequent growth. Considerable shift of individual regions of the parent phase do occur on a microscopic scale and would account for the well defined relief observed on polished surfaces.

The concept of small mutual shifts of atoms in a martensitic transformation would account for the lack of a change in concentration. Thus a martensitic transformation is considered to be a non-diffusional process in which the atoms move slightly but do not change places. Since orderly reorganization of the parent lattice is involved, this would account for the regularity of the lattice

orientation relationship and the fact that an ordered martensitic phase is derived from an ordered parent phase. The small shifts involved also suggest the existence of a coherent interface between the old and new phase. The high rate of martensitic transformation observed at low temperature could be a consequence of the preservation of coherency during what is termed «ordered growth» of martensite.

In agreement with KURDJUMOV, ARKAROV [32] classifies a martensitic transformation as a diffusionless, orderly, isoconcentrational reaction which proceeds by the rapid growth of regularly oriented crystals of the new phase. This results from a rapid displacement of large groups of atoms based on elementary acts of plastic deformation. A regular space-time sequence of small atomic movements are involved in which neighboring atoms are affected because of elastic forces. The transformation is believed to spread out with the speed of transmission of mechanical disturbances in a solid i.e. the speed of sound.

In order to account for the limited growth of an individual martensite crystal in steel, KURDJUMOV [3, 29] assumes that due to coherency the magnitudes of the elastic stresses in both phases increase as a martensite crystal grows. Eventually plastic deformation is induced and the coherency at the interface is destroyed. This results in the cessation of «ordered growth» and the transformation must proceed by the formation of new crystals of martensite. Although there is a possibility of «disordered growth», this does not occur to any appreciable extent at the relatively low temperatures at which martensitic transformations usually occur. The application of stress that results in plastic deformation is also considered to limit «ordered growth». The mean volume of a martensite crystal is believed to decrease due to the interference set up in regions in which slip has occurred.

The existence of elastic stresses in martensite was confirmed by ARBUZOV [33]. He found that anodic solution of hardened steel enabled isolation of martensite from retained austenite. The diffraction lines of electrolytically extracted martensite were found substantially less diffuse than in the bulk material although the lattice constants were not affected. It was concluded that the electrolytic extraction freed the martensitic crystals from elastic distortion.

For the case of pure metals and alloys in which growth of individual plates is not limited by plastic deformation but merely is a function of temperature, KURDJUMOV believes that a condition of elastic equilibrium is set up. This is the basis of his concept of «thermoelastic martensitic crystals». According to this concept, the state of lowest energy at a temperature below  $M_s$  corresponds to a definite size of martensite crystals. An increase in size beyond this point results in higher surface and strain energy. Growth is arrested on cessation of cooling even though coherency between the old and new phases is preserved. A decrease in temperature allows an increase in crystal size,



whereas an increase in temperature results in decrease in size due to the reverse transformation. This concept assumes that the strains developed as a result of transformation do not result in loss of coherency due to plastic deformation.

ARKAROV [32] also believes that a necessary condition for the occurrence of «thermoelastic martensite» is the retention of a coherent interface. This interface is considered to be a region over which small atomic distortions exist. The transformation comes to a stop on reaching a given temperature because the coherency bond is reduced to such an extent that the linear displacement of the extreme atoms in the zone of coherency no longer sufficiently distorts the electrostatic field to move next nearest atoms in the direction of rearrangement. Transformation is resumed with further decreases in temperature because the distortion effect of the extreme atoms is intensified and the energy barrier of the process is lowered.

KURDJUMOV [3] summarizes the basic conditions required for a martensitic transformation as follows: *a*) absence of atomic movements to boundary or new phase by place exchange; *b*) a temperature range in which the elastic limit is sufficiently high; *c*) a temperature range in which the energy of thermal vibrations is insufficient for rapid «disordered growth» or recrystallization. As pointed out by KOGAN and ENTIN [34], these conditions can be met in alloys of iron with chromium, nickel, and cobalt. By the supercooling of austenite in these alloys to a temperature below that at which the rate of transformation to  $\alpha$  was a maximum, the nature of the transformation changed and became martensitic. The  $M_s$  temperatures of six alloys studied were found to be 300-350 °C below their corresponding  $A_{c3}$  temperatures. The effect of alloy elements on the position of  $M_s$  was considered to be related to their effect on  $A_{c3}$ , the elastic characteristics of the medium, and the recrystallization temperature.

### 3.4. — *Magnitude of Atomic Displacement.*

SADOVSKIJ and JAKUTOVIČ [35] reported that the lattice parameter of austenite at the temperature of  $M_s$  is the same for all plain carbon steels regardless of carbon content. The critical value of the austenitic parameter for transformation to start was found to be 3.067 Å. They concluded that the dimensional change due to thermal expansion may be considered equivalent to that due to carbon solution, and that the start of martensite formation corresponds to the attainment of a critical specific volume by the austenite on cooling.

On the basis of a more fundamental analysis ARKAROV [36], proposes that a correlation exists between the displacement of atoms along the diagonal of the (111) <sub>$\gamma$</sub>  plane necessary to result in the martensitic lattice. Since the (111) <sub>$\gamma$</sub>

and  $(101)_M$  planes have been shown to be parallel, the diagonals of these planes may be considered to coincide although different in length. This difference decreases with temperature since the coefficient of thermal contraction of austenite is more than twice that of martensite. Using the data of SADOVSKIJ and JAKUTOVIČ [35], ARKAROV calculates that martensite formation starts when the difference in diagonal length becomes less than about 2%.

### 3.5. - Rate of Growth.

Equations were developed by LJUBOV [37] for the rates of growth of a martensite plate along both its thickness and radius dimensions assuming a biconvex lens shape. Starting with equation (2) in the following form:

$$(8) \quad \Delta F = -\Delta F_v \frac{\pi}{2} R^2 H + \sigma 2\pi R^2 + \frac{1}{2} \varphi^2 G \pi R^2 H$$

where  $\Delta F$  = Overall free energy change,

$R$  = Radius,

$H$  = Thickness,

$\varphi$  = Magnitude of shear involved as determined by crystallographic data,

$G$  = Shear modulus,

an expression for  $R$  was determined for the condition that martensite crystals of constant volume possess dimensions corresponding to the minimum value of  $\Delta F$  or what has previously been expressed as  $W_c$ :

$$(9) \quad R = \frac{3}{4} \frac{\gamma}{\sigma} H^2,$$

where  $\gamma = \frac{1}{2} \varphi^2 G$ .

In a previous paper [38], the following relation was derived for the rate of growth of a new phase:

$$(10) \quad \frac{dn}{dt} = -n'\omega \exp[-U/kT] \left( \frac{1}{kT} \right) \frac{d\Delta F_n}{dn},$$

where  $n$  = Number of atoms in particle of new phase,

$n'$  = Number of atoms at surface,

$\omega$  = Vibration frequency of atoms,

$\Delta F_n$  = Total free energy change for the formation of a particle containing  $n$  atoms.

Based on equations (8), (9), (10), expressions for  $n$  and  $n'$  in terms of  $H$  and the atomic diameter  $d$ , and use of the average Debye frequency for  $\omega$ , the following equations were derived for the rates of growth in the thickness and radial directions,  $V_H$  and  $V_R$ :

$$(11) \quad V_H = \frac{dH}{dt} = \frac{\pi}{15} \frac{d^4 W_c}{h} \frac{\theta_D}{T} \exp \left[ -\frac{U}{kT} \right] \left( \frac{1-H_c}{H} \right),$$

$$(12) \quad V_R = \frac{dR}{dt} = \frac{\pi}{10} \frac{d^4 \gamma W_c}{\sigma h} \frac{\theta_D}{T} \exp \left[ -\frac{U}{kT} \right] (H - H_c),$$

$$\text{where} \quad H_c = \frac{16\sigma}{3\Delta F_v} \quad \text{and} \quad \omega = \frac{3}{4} \frac{k\theta_D}{h},$$

$\theta_D$  = Debye characteristic temperature,

$h$  = Planck's constant.

The ratio of rates of growth is given by

$$(13) \quad \frac{V_H}{V_R} = \frac{2}{3} \frac{\sigma}{\gamma H}$$

and has a maximum value at the minimum value of  $H=H_c$ :

$$(14) \quad \left( \frac{V_H}{V_R} \right)_{\max} = \frac{2\sigma}{3\gamma H_c} = \frac{1}{8} \frac{W_c}{\gamma}.$$

Calculations of  $(V_H/V_R)_{\max}$  for various steels based on the data of FISHER, HOLLOMON and TURNBULL [39] revealed that this value is considerably smaller than unity. It was therefore concluded that radial growth is much faster than growth along the thickness dimension.

Radial growth is eventually stopped either because an obstacle such as a grain boundary is encountered or else coherent growth is disrupted because of the occurrence of plastic deformation due to stress concentration at the rim of the growing plate. Thereafter the radius of the martensite crystal should remain constant at a value of  $R_0$ , and any further increase in size should only occur by increase in thickness in accordance with the following equation:

$$(15) \quad \frac{dH}{dt} = \frac{4\pi}{9} \frac{d^4 W_c}{h} \frac{\theta_D}{T} \exp \left[ -\frac{U}{kT} \right] \left[ 1 - \frac{H}{H_c} \right]$$

$$\text{where} \quad H_c = \frac{\Delta F_v R_0}{4\gamma}.$$



From this equation it appears that the rate of growth in the thickness direction for the condition of constant radius decreases with increasing thickness and becomes zero at  $H = H_c$ . As the temperature decreases,  $\Delta F_r$  increases and  $H_c$  becomes larger; as the temperature increases,  $H_c$  becomes smaller. This would account for the behavior of «thermoelastic martensite» observed by KURDJUMOV and HANDROS [28], the equilibrium value of thickness being solely a function of temperature. However, in the majority of cases, plastic deformation occurs before the thickness dimension attains its equilibrium value. The resulting loss of coherency prevents any further increase in size.

#### 4. — Comparison of Theories.

##### 4.1. — Summary of Kurdjumov's Theory.

In summary, Kurdjumov's theory of martensitic transformations is based on the concepts of homogeneous nucleation and coherent growth. Homogeneous nucleation implies that martensite nuclei start from essentially zero size at the reaction temperature. Although KURDJUMOV refers to certain localized regions in the austenite having the packing of the martensitic lattice his expression for work of formation of a martensitic nucleus signifies an initial size of zero. On this basis, the martensitic transformation is considered to proceed isothermally at all temperatures. The fast rate of nucleation at temperatures below  $M_s$  is considered by KURDJUMOV to be responsible for the impression that the transformation is athermal (time independent) to a large extent.

This nucleation and growth theory also implies that the  $M_s$  point should decrease at an increasing rate with increase in cooling rate, and that suppression should occur at a sufficiently high rate of cooling. However, the experimental evidence of ESSER *et al.* [40], GRENINGER [41], and DUWEZ [42] indicate no decrease in  $M_s$  with cooling rate. KURDJUMOV [1] himself considers a constant  $M_s$  to be a characteristic of the martensitic transformation in steel in spite of the fact that his equations imply otherwise.

##### 4.2. — Fisher, Hollomon, Turnbull Theory.

A nucleation and growth theory of martensitic transformations has also been presented by FISHER, HOLLOMON, and TURNBULL [39, 43]. For the case of steel, they postulate the existence of non-coherent embryos of martensite in austenite prior to quenching. These embryos are believed to occur in carbon

depleted regions which result from fluctuations in carbon concentration at the austenitizing temperature. On quenching, these embryos become full size martensitic plates by a process of athermal nucleation and coherent growth.

The mechanism of growth is considered to consist of successive layers of atoms being deposited one atom at a time as martensite forms. Each atom is believed to move only a fraction of an atomic spacing to join the martensitic lattice. The activation energy for coherent growth,  $U$ , is believed to be related to the activation energy for self-diffusion of iron atoms in austenite. The following calculation was utilized to determine the value of  $U$ :

$$(16) \quad U = (0.34)^2(0.36)(48000) = 2000 \text{ cal/mol},$$

where the fractional movement of iron atoms is taken to be 0.34 and the energy required to move an iron atom is 0.36 of the activation energy for self-diffusion. The authors proposed that a martensite plate forms quickly in a radial direction, and then increases in size by thickening. At low temperatures, the rate of nucleation is believed to become very small and therefore transformation proceeds mainly by thickening of existing plates.

The predicted mode of transformation at low temperatures was not confirmed by experiments carried out by KURDJUMOV and MAKSIMOVA [4], MACHLIN and COHEN [44], DAS GUPTA and LEMENT [45], and KULIN and COHEN [5]. The increase in martensite was found to be mainly due to nucleation of new plates rather than thickening of existing plates. Recently, CECI and HOLLOMON [7] by a motion picture technique were able to show that isothermal transformation in an iron-nickel-manganese alloy likewise occurred mainly by formation of new plates.

For the case of non-steels in which carbon fluctuations do not play a role, martensite reactions are considered to occur by the process of homogeneous nucleation and growth. The kinetics of the martensitic reaction in an iron-nickel-manganese alloy was derived quantitatively by FISHER [46] by an extension of classical nucleation theory to include the effects of elastic strain energy. The following equation was used for determining the rate of homogeneous nucleation of martensite plates:

$$(17) \quad N = N_0 \frac{\omega}{V_n} \exp \left[ - \frac{W_c}{kT} \right],$$

where  $N_0$  = Avogadro's number,

$V_n$  = Molar volume.

This equation differs from Kurdjumov's equation (1) because of Fisher's assumption that  $U=0$ . Reasonable agreement with the experimental findings

of C'ECHE and HOLLOMON [7] was obtained by taking into account the volume restriction imposed by partitioning of the retained austenite as a result of continued formation of martensitic plates. This type of analysis was extended by FISHER [47] in an attempt to account for the martensitic behavior of binary iron-nickel alloys. His results indicated that suppression by rapid cooling followed by completely isothermal nucleation of martensite can only be observed experimentally in a very narrow range of composition, 29.9 to 30.2 atomic % Ni. With nickel contents below about 29.9 atomic %, the transformation should occur so rapidly as to simulate the existence of an  $M_s$  point. On the basis that the equivalent of an  $M_s$  would be observed if the nucleation rate equals one nucleus per  $\text{cm}^3 \text{ s}$ , the variation of  $M_s$  with nickel content was calculated and gave very good agreement with the experimental results of JONES and PUMPHREY [48] in the range of about 10 to 25 atomic % nickel. With decrease in nickel below 10 atomic %, the experimentally determined  $M_s$  points deviate to an increasing extent from the  $M_s$  values calculated by FISHER and tend to approach the curve calculated for the variation of the equilibrium temperature,  $T_0$ , with nickel content. Assuming no changes in composition occur at the relatively high  $M_s$  temperatures of alloys below 10 atomic % nickel, the possibility of a low nucleation barrier at high temperatures due to decreased elastic strain energy by relaxation was suggested by FISHER.

A theoretical evaluation of the effect of stress on the martensitic transformation was made by FISHER and TURNBULL [49]. It was hypothesized that stresses would influence nucleation because of an effect on both volume free energy and strain energy. By taking these effects into account, modified expressions for the work of formation,  $W_c$ , and volume of a critical size nucleus,  $V_c$ , were obtained. For iron-carbon alloys in which athermal nucleation was believed to occur, the criterion for  $M_s$  was taken to be  $V_c = \text{constant}$ ; whereas for iron-nickel alloys in which homogeneous thermal nucleation was believed to occur, the criterion for  $M_s$  was taken to be  $W_c = \text{constant}$ . Calculations were made of the change in  $M_s$  for an applied stress of 15000 psi in both tension and compression for the alloy studied by KULIN, COHEN, and AVERBACH [26]. Good agreement with the experimental values was obtained with the added assumption that the habit planes of potential martensitic nuclei are oriented at random.

#### 4.3. — *Machlin, Cohen, Paranjpe Theory.*

A reaction-path theory of martensitic transformations based on the concept of strain embryos has been presented by MACHLIN, COHEN and PARANJPE [50, 44]. According to this theory, the transformation can be described as a displacement of atoms in the austenitic lattice along a strain-type reaction-path that results

in the formation of martensite. Nucleation of martensitic plates occurs in strained regions of the austenite called strain embryos. Such an embryo is considered to be prevented from becoming a martensite plate by the existence of a free-energy barrier. In order to isothermally activate the embryo, sufficient energy must be supplied either by temperature fluctuations or by applied stress to exceed the difference between the energy value of the barrier and that of the strain embryo. However, a lowering of temperature results in a decrease in the barrier energy and therefore strain embryos can be athermally activated.

The initial rate of nucleation of strain embryos at constant temperature is given by the following relation [25]:

$$(18) \quad N_{t=0} = n_F \omega k T_h \exp [-(F_{a(T_h)} - F_{o(T_r)})/kT_h],$$

where  $n_F dF$  = Number of strain embryos possessing free energies between  $F$  and  $F+dF$  per unit untransformed volume,

$F_{a(T_h)}$ ,  $F_{o(T_r)}$  = Activation energy at isothermal reaction temperature  $T_h$  and precooling temperature  $T_r$  respectively.

According to the exponent of equation (18), the initial rate of isothermal transformation should go through a maximum as the holding temperature is increased above the precooling temperature. However, it was shown that the temperature of maximum initial rate of isothermal transformation,  $T_m$ , depends on precooling temperature and reaches its highest value if a precooling temperature,  $T_r$ , near absolute zero is used. The highest  $T_m$  possible for an iron-30% nickel alloy was calculated to be 160 °K. This was confirmed experimentally in that no maximum was observed if  $T_r$  is higher than about 160 °K.

It is postulated by the reaction-path theory that a martensite plate forms from a strain embryo with a speed approaching that of sound. Thus a martensitic reaction is considered to be nucleation controlled. From a consideration of the crystallographic features of the martensitic transformation in an iron-30% nickel alloy, MACHLIN and COHEN [51] came to the conclusion that formation of a martensite plate involves two successive displacements. The first displacement is believed to be combination of a shear and tensile strain, while the second displacement is a simple shear or twinning movement. In forming a plate, the first displacement propagates as a wave moving away from the strain embryo center. The strain at the embryo center increases as the wave front of the first displacement moves. When the magnitude of the first displacement attains its final value, the second displacement starts spreading out from the embryo center and progressively completes the formation of a martensite plate.

The concept of two successive displacements was recently supported by the evidence of BUNSHAH and MEHL [52] who employed a high speed amplifier



technique to measure changes in electrical resistance during martensite formation in an iron-nickel alloy containing 30% Ni. They found that the formation of a single plate involved first an increase and then a decrease in resistance. By timing these changes, it was possible to measure the speed of propagation of a martensite plate. They reported a speed of 3300 feet/s independent of temperature in the range of  $-20$  to  $-196$  °C. Since the speed of elastic wave propagation in the same alloy was known to remain constant at a value of 9925 feet/s over the same temperature range, a correlation was established. It was also pointed out that in order for speed of martensite formation to be independent of temperature, the activation energy for growth must be virtually zero. An activation energy for growth of 500 cal/mol as reported by KURDJUMOV and MAKSIMOVA [8] would be manifest by a ratio of speed of propagation at  $-20$  °C to that at  $-196$  °C of about 8 to 1. This ratio would be increased to about 3000 to 1 if the activation energy were 2000 cal/mol as calculated by equation [16].

According to the reaction-path theory, the transformation is propagated with the speed of an elastic wave at all temperatures. Decreasing the temperature below  $T_m$  results in decreased initial rate of transformation because of decreased rate of nucleation rather than due to the influence of  $\exp[-U/kT]$ . If a stress is applied at a temperature near absolute zero at which the rate of isothermal martensitic transformation is nil, the nucleation and growth theory of KURDJUMOV would not predict any additional transformation. This theory would indicate that even if some nuclei form, the rate of growth is too small to yield a measurable increase in martensite. On the other hand, the reaction-path theory predicts the likelihood of a stress-induced transformation even near absolute zero because any nuclei formed can instantly grow to full size plates. This was demonstrated by stress experiments carried out in liquid helium at 4 °K by KULIN and COHEN [5] on a 18-8 stainless steel and a 1% C, 20% Ni steel; and by MACHLIN and COHEN [44] on a 71% Fe, 29% Ni alloy.

The reported suppressibility of the 0.6% C, 6% Mn steel of KURDJUMOV and MAKSIMOVA [4] can be explained on the basis of the reaction-path theory. If the energy of activation is higher than the maximum free energy of the embryos, no martensite will form provided that the quenching rate is sufficiently rapid. However, on holding at constant temperature, martensite formation by thermal nucleation of strain embryos can occur.

Investigations [23-27] of the effect of plastic deformation on  $M_s$  have led to contradictory results. As pointed out by COHEN [53], these results can be reconciled on the basis of the strain embryo concept of martensite nucleation if the complex factors associated with plastic deformation are taken into consideration. On the one hand, plastic deformation acts to stimulate the transformation either during deformation or on subsequent cooling. This occurs by the introduction of new strain embryos and by raising the energy level

of existing embryos. On the other hand, plastic deformation acts to oppose the transformation because of partitioning of the austenite. This results in a reduced martensitic plate size which yields less martensitic volume per activated embryo and offers less chance for cooperative action. In addition, the effective austenite grain size after complex deformation may become sufficiently small to inhibit the displacement associated with the transformation. Thus  $M_s$  may be raised or lowered by plastic deformation depending on which factors dominate. It is possible for  $M_s$  to be first raised by small amounts of deformation and then lowered by further deformation. The initial raising of  $M_s$  may occur at such small amounts of deformation as to be difficult to detect experimentally, and in such cases only lowering of  $M_s$  would be observed.

An important feature of the martensitic transformation is its autocatalytic nature. According to the reaction-path theory, the formation of a martensitic plate results in plastic deformation of the surrounding austenite and thereby induces the formation of new strain embryos. Thus, prior formation of martensite has a stimulating effect on subsequent transformation. As described by MACHLIN and COHEN [25], the activation of a sufficient number of strain embryos simultaneously may create sufficient momentum to start a chain reaction. The practically instantaneous occurrence of a relatively large increment of transformation is referred to as «burst» formation of martensite.

As discussed by DAS GUPTA and LEMENT [17], stabilization may result from removal of the stimulating effect of prior transformation by diffusion of carbon atoms from the edges of martensitic plates into the strain embryos present in the adjoining austenitic matrix. Immobilization of these strain embryos could occur as a result of an effective increase in the energy barrier of the transformation. However, since the energy barrier can be lowered by decrease in temperature, it should be possible to activate these embryos and overcome the stabilization effect. This apparently occurred by «burst» formation of martensite in a 0.7% C, 15% Cr steel cooled to  $-196^\circ\text{C}$ , and in some cases even more transformation resulted than without prior stabilization.

## 5. — Bibliography.

- [1] G. V. KURDJUMOV: *Diffusionless (Martensitic) Transformation in Alloys*, Part I, in *Žu. Tehn. Fiz.*, **18**, 999 (1948). (B.T. (\*) n. 2300).
- [2] G. V. KURDJUMOV: *Diffusionless (Martensitic) Transformations in Alloys*, Part II, *Martensitic Transformation on Heating, Reversibility of Martensitic Transformations*, in *Žu. Tehn. Fiz.*, **18**, 1004 (1948). (B.T. n. 2412).
- [3] G. V. KURDJUMOV: *Diffusionless (Martensitic) Transformations in Alloys*, Part III (concluding) *On the Nature of Martensitic Transformations*, in *Žu. Tehn. Fiz.*, **18**, 1011 (1948). (B.T. n. 2423).

(\*) B.T. = Brucher Translation.

- [4] G. V. KURDJUMOV and O. P. MAKSIMOVA: *Kinetics of Austenite-To-Martensite Transformation at Low Temperatures*, in *Dokl. Akad. Nauk SSSR*, **61**, 83 (1948). (B.T. n. 2187).
- [5] S. A. KULIN and M. COHEN: *On the Martensitic Transformation at Temperatures Approaching Absolute Zero*, in *Trans. Am. Inst. Mining Metall. Eng.*, **188**, 1139 (1950).
- [6] V. G. VOROB'EV and A. P. GULJAEV: *Transformation of Austenite into Martensite at Subzero Temperature*, Communication II, in *Žu. Tehn. Fiz.*, **21**, 1164 (1951). (B.T. n. 3021).
- [7] R. E. CECHE and J. H. HOLLOMON: *Rate of Formation of Isothermal Martensite in Fe-Ni-Mn Alloy*, in *J. of Metals*, **5**, 685 (1953).
- [8] G. V. KURDJUMOV and O. P. MAKSIMOVA: *On the Energy of Formation of Martensite Nuclei*, in *Dokl. Akad. Nauk SSSR*, **73**, 95 (1950). (B.T. n. 2565).
- [9] B. L. AVERBACH, M. COHEN and S. G. FLETCHER: *The Dimensional Stability of Steel*, Part III: *Decomposition of Martensite and Austenite at Room Temperature*, in *Trans. Am. Soc. Met.*, **40**, 728 (1948).
- [10] B. L. AVERBACH and M. COHEN: *The Isothermal Decomposition of Martensite and Retained Austenite*, in *Trans. Am. Soc. Met.*, **41**, 1024 (1949).
- [11] G. V. KURDJUMOV and O. P. MAKSIMOVA: *Kinetics of Martensite Transformation at Temperatures Above Room Temperature*, in *Dokl. Akad. Nauk SSSR*, **81**, 565 (1951). (B.T. n. 2844).
- [12] S. A. KULIN and G. R. SPEICH: *Isothermal Martensite Formation in an Iron-Chromium-Nickel Alloy*, in *Trans. Am. Inst. Mining Metall. Eng.*, **194**, 258 (1952).
- [13] G. N. BOGAČEVA and V. D. SADOVSKIJ: *On the Stabilization of Austenite with Respect to the Martensite Transformation*, in *Dokl. Akad. Nauk SSSR*, **83**, 569 (1952). (B.T. n. 2905).
- [14] E. P. KLIER and A. R. TROIANO: «Ar» in Chromium Steels, in *Trans. Am. Inst. Mining Metall. Eng.*, **162**, 175 (1945).
- [15] S. S. ŠTEINBERG: *Report of Ural Industrial Institute USSR*, (1938), n. 8.
- [16] W. J. HARRIS and M. COHEN: *Stabilization of Austenite - Martensite Transformation*, in *Trans. Am. Inst. Mining Metall. Eng.*, **180**, 447 (1949).
- [17] S. C. DAS GUPTA and B. S. LEMENT: *Stabilization of the Austenite - Martensite Reaction in a High Chromium Steel*, in *J. of Metals*, **5**, 530 (1953).
- [18] E. R. MORGAN and T. KO: *Thermal Stabilization of Austenite in Iron-Carbon-Nickel Alloys*, in *Acta Metallurgica*, **1**, 36 (1953).
- [19] T. KO and B. EDMONDSON: *Thermal Stabilization of Austenite in Nickel Steels*, (L. E.), in *Acta Metallurgica*, **1**, 466 (1953).
- [20] P. P. PETROSJAN: *The Stabilization of Undercooled Austenite*, in *Dokl. Akad. Nauk SSSR*, **59**, 1109 (1948).
- [21] V. G. VOROB'EV and A. P. GULJAEV: *Influence of Alloying Elements Upon Martensite Transformation Temperatures*, Communication I, in *Žu. Tehn. Fiz.*, **21**, 1157 (1951). (B.T. n. 3020).
- [22] V. D. SADOVSKIJ and G. N. BOGAČEVA: *On the Influence of the Quenching Temperatures Upon the Quality of Retained Austenite in Steel*, in *Dokl. Akad. Nauk SSSR*, **83**, 221 (1952). (B.T. n. 2885).
- [23] G. V. KURDJUMOV, O. P. MAKSIMOVA and T. V. TAGUNOVA: *On the Transformation of Deformed Austenite into Martensite*, in *Dokl. Akad. Nauk SSSR*, **73**, 307 (1950). (B.T. n. 2581).

- [24] O. P. MAKSIMOVA and A. I. NIKONOROVA: *Influence of Deformation upon Kinetics of Martensite Transformation*, in *Dokl. Akad. Nauk SSSR*, **81**, 183 (1951). (B.T. n. 2838).
- [25] E. S. MACHLIN and M. COHEN: *Burst Phenomenon in the Martensitic Transformation*, in *Trans. Am. Inst. Mining Metall. Eng.*, **191**, 746 (1951).
- [26] S. A. KULIN, M. COHEN and B. L. AVERBACH: *Effect of Applied Stress on the Martensitic Transformation*, in *Trans. Am. Inst. Mining Metall. Eng.*, **194**, 661 (1952).
- [27] V. I. PROSVIRIN: *Influence of Plastic Deformation within Range of Martensite Transformation on Position of Martensite Point*, in *Žu. Tehn. Fiz.*, **19**, 542 (1949). (B.T. n. 2677).
- [28] G. V. KURDJUMOV and L. G. HANDROS: *On the Thermoelastic Equilibrium in Martensitic Transformations*, in *Dokl. Akad. Nauk SSSR*, **66**, 211 (1949). (B.T. n. 2393).
- [29] G. V. KURDJUMOV: *Nature of Non-Diffusion (Martensite) Transformations*, in *Dokl. Akad. Nauk SSSR*, **60**, 1543 (1948).
- [30] G. V. KURDJUMOV and O. P. MAKSIMOVA: *Stal SSSR*, **10** (1950).
- [31] V. I. DANILOV: *Žu. Eksper. Teor. Fiz.*, **19**, 304 (1949); *Symposium of Institute for Metallography and Metal Physics, Central Research Institute for Ferrous Metals* (1949).
- [32] V. I. ARKAROV: *On the Fundamental Concepts of the Theory of Phase Transformations in Solids*, in *Dokl. Akad. Nauk SSSR*, OTN, 1744 (1951). (B.T. n. 2851).
- [33] M. P. ARBUZOV: *Condition of Martensite Electrolytically Isolated from Quenched Steel*, in *Dokl. Akad. Nauk SSSR*, **74**, 1085 (1950). (B.T. n. 2690).
- [34] L. I. KOGAN and R. I. ENTIN: *Kinetics of Polymorphic Transformation of Alloyed Iron*, in *Dokl. Akad. Nauk SSSR*, **73**, 1173 (1950). (B.T. n. 2606).
- [35] V. D. SADOVSKIJ and M. V. JAKUTOVIČ: *Dokl. Akad. Nauk SSSR*, **57**, 369 (1947).
- [36] V. I. ARKAROV: *Relationship Between Crystal Lattice Parameter of Austenite and Start of Martensite Transformation in Iron-Carbon Alloys*, in *Dokl. Akad. Nauk SSSR*, **70**, 8333 (1950). (B.T. n. 2696).
- [37] B. JA. LJUBOV': *Kinetics of Isothermal Growth of Martensite Crystals*, in *Dokl. Akad. Nauk SSSR*, **78**, 895 (1951). (B.T. n. 2848).
- [38] B. JA. LJUBOV': *Dokl. Akad. Nauk SSSR*, **72**, 273 (1950).
- [39] J. C. FISHER, J. H. HOLLOMON and D. TURNBULL: *Kinetics of the Austenite-Martensite Transformation*, in *Trans. Am. Inst. Mining Metall. Eng.*, **185**, 691 (1949).
- [40] H. ESSER, W. EINLENDER and E. SPENLE: *Quenching Diagrams of Iron-Carbon Alloys*, in *Archiv f.d. Eisenhüttenwesen*, **6**, 389 (1933).
- [41] A. B. GRENIĞER: *The Martensite Thermal Arrest in Iron-Carbon Alloys and Plain Carbon Steels*, in *Trans. Am. Soc. Met.*, **30**, 1 (1942).
- [42] P. DUWEZ: *Effect of Rate of Cooling on the Alpha-Beta Transformation in Titanium and Titanium-Molybdenum Alloys*, in *Trans. Am. Inst. Mining Metall. Eng.*, **191**, 765 (1951).
- [43] J. C. FISHER: *Eutectoid Decompositions*, in *Am. Soc. Met. « Seminar on Thermodynamics in Physical Metallurgy »*, 201 (1950).
- [44] E. S. MACHLIN and M. COHEN: *Isothermal Mode of the Martensite Transformation*, in *Trans. Am. Inst. Mining Metall. Eng.*, **194**, 489 (1952).
- [45] S. C. DAS GUPTA and B. S. LEMENT: *Isothermal Formation of Martensite at Sub-zero Temperatures in a High Chromium Steel*, in *Trans. Am. Inst. Mining Metall. Eng.*, **191**, 727 (1951).



- [46] J. C. FISHER: *Application of Nucleation Theory to Isothermal Martensite*, in *Acta Metallurgica*, **1**, 32 (1953).
- [47] J. C. FISHER: *Martensite Nucleation in Substitutional Iron Alloys*, in *J. of Metals*, **5**, 918 (1953).
- [48] F. W. JONES and W. I. PUMPHREY: *Free Energy and Metastable States in the Iron-Nickel and Iron Manganese Systems*, in *J. Iron Steel Inst.*, **163**, 121 (1949).
- [49] J. C. FISHER and D. TURNBULL: *Influence of Stress on Martensite Nucleation*, in *Acta Metallurgica*, **1**, 310 (1953).
- [50] E. S. MACHLIN, M. COHEN and V. G. PARANJPE: *Thermodynamics of the Martensite Transformation*, in *Am. Soc. Met. « Seminar on Thermodynamics in Physical Metallurgy »*, 242 (1950).
- [51] E. S. MACHLIN and M. COHEN: *Habit Phenomenon in the Martensitic Transformation*, in *Trans. Am. Inst. Mining Metall. Eng.*, **191**, 1019 (1951).
- [52] R. F. BUNSHAH and R. F. MEHL: *Rate of Propagation of Martensite*, in *J. of Metals*, **5**, 1251 (1953).
- [53] M. COHEN: *Results of Studies on Martensite Formation not Contradictory*, in *Metal Progress*, 114 (April 1953).

## Travaux soviétiques sur le service de l'heure.

A. STOYKO

*Observatoire de Paris*

(ricevuto il 3 Febbraio 1954)

### SOMMAIRE

1. Introduction. — 2. Détermination de l'heure et les instruments des passages. — 3. Conservation de l'heure et pendules. — 4. Diffusion de l'heure (signaux horaires). — 5. Centralisation de l'heure. — 6. Longitudes. — 7. Variations saisonnières de rotation de la Terre. — 8. Bibliographie.

### 1. — Introduction.

L'étude systématique de l'astronomie pratique a été commencée en Russie sous le règne de Pierre le Grand, quand à Moscou fut fondée l'École de Navigation. JA. BRUS, qui fut son premier directeur, peut être considéré comme le premier astronome russe.

Après la création en 1725 de l'Observatoire Astronomique de l'Académie des Sciences de St.-Pétersbourg, l'astronomie russe a connu un progrès considérable. Cet observatoire, étant très bien outillé pour l'époque, a joué un rôle important dans la formation d'une nouvelle génération d'astronomes et de géodésiens russes.

Le commencement du XIX siècle fut marqué par la fondation presque simultanée des observatoires de Kazan, de Kharkov, de Moscou, de Kiev et de Dorpat. Pourtant, l'évènement de la plus grande importance dans l'histoire de l'astronomie russe fut la fondation de l'Observatoire de Poulkovo le 19 Août 1839. W. STRUVE, son premier directeur et organisateur, a élaboré personnellement les plans des travaux astronomiques. Le but principal de

l'Observatoire de Poulkovo était d'obtenir les positions absolues des étoiles et de déterminer les constantes astronomiques avec la plus grande précision possible, ainsi que de perfectionner l'astronomie pratique.

Pendant les premières dizaines d'années de l'existence de l'Observatoire de Poulkovo le devoir du service de l'heure consistait presque exclusivement dans la détermination des corrections des pendules pour les besoins du travail astronomique. Un autre devoir du service horaire fut l'étude des chronomètres, dont on avait besoin d'un très grand nombre pour les travaux géodésiques (détermination des longitudes). Enfin, le service de l'heure communiquait l'heure exacte pour les besoins de la vie courante. Ce dernier problème put être résolu d'une manière pratique seulement après l'invention du télégraphe.

Mais ce n'est qu'à partir de l'invention de la télégraphie sans fil qu'on peut parler d'un service horaire moderne. Cette invention a effectué une véritable révolution dans les méthodes du travail des services horaires du monde entier.

Étant donné que le travail d'un service horaire peut être divisé en trois parties:

- 1) la détermination de l'heure (observations astronomiques);
- 2) la conservation de l'heure dans les intervalles entre les observations astronomiques consécutives;
- 3) la transmission de l'heure aux usagers;

j'ai conservé cet ordre dans la disposition des chapitres.

## 2. — Détermination de l'heure et les instruments des passages.

Les premières contributions russes dans le domaine du service horaire furent deux méthodes originales de la détermination de l'heure. L'une d'elles fut proposée par W. K. DOELLEN en 1863: c'est la méthode de la détermination de l'heure à l'aide d'un instrument des passages, dont l'axe optique doit se trouver toujours dans le plan du vertical de l'étoile Polaire [96]. Cette méthode, très pratique pour les travaux de campagne, est utilisée en Russie pour la détermination des longitudes de 1<sup>re</sup> classe. En Suisse on se sert aussi de cette méthode dans les travaux géodésiques.

En 1874 Prof. N. JA. CINGER [97] a proposé sa méthode des hauteurs correspondantes, devenue depuis classique et qui continue d'être largement utilisée dans les déterminations des longitudes de 2<sup>me</sup> classe.

Dans le service horaire moderne la détermination de l'heure représente en général le côté le plus faible du travail. Tandis que la variation accidentelle de la marche journalière des meilleures horloges ne dépasse pas souvent 0<sup>s</sup>.001, la précision de la détermination de l'heure n'a que fort peu augmenté au cours des dernières dizaines d'années et peut atteindre dans les meilleurs cas  $\pm 0^s.01$ .

La détermination de la correction de pendule s'effectue avec une précision inférieure que l'interpolation ou même l'extrapolation de cette correction dans l'intervalle de quelques journées. On tâche de parer à cet inconvénient en augmentant le nombre d'observations astronomiques et en utilisant la correction moyenne, déduite des résultats de ces observations. Ce procédé ne donne quand même pas la résolution du problème de l'amélioration de qualité d'une détermination astronomique de l'heure individuelle. Pourtant un grand nombre de problèmes astronomiques et géographiques exigent la haute qualité d'une seule observation astronomique. Pour cette raison les recherches sur les erreurs personnelles et instrumentales, ayant pour but l'amélioration de la qualité des déterminations de l'heure, présentent un grand intérêt scientifique.

M. S. ZVEREV [92] a étudié les résultats de 600 déterminations de l'heure, faites par le service horaire de l'Institut de Sternberg à l'aide de deux instruments des passages. Il est arrivé à la conclusion que les équations personnelles des observateurs étaient plus stables que les erreurs systématiques instrumentales. ZVEREV a étudié l'« effet du vent » et ses conclusions coïncident avec celles de Greenwich, obtenues précédemment. D'après ZVEREV l'« effet du vent » doit donner un terme saisonnier dans les observations astronomiques avec la période annuelle ou sémi-annuelle [90, 92].

En 1946 V. P. ŠČEGLOV a organisé un programme d'observations simultanées avec deux instruments des passages identiques dans le but de séparer les erreurs systématiques et de déterminer leur valeur [73]. On observait un même groupe d'étoiles pendant une assez longue période, après quoi on passait à un autre groupe d'étoiles, culminant plus tard. Au cours d'une soirée on déterminait quatre corrections de pendule avec un échange de place entre les observateurs après deux premières corrections de pendule. En ce qui concerne les équations personnelles et les erreurs systématiques instrumentales, ŠČEGLOV arrive à des conclusions concordant avec celles de ZVEREV.

Parmi les recherches sur l'irrégularités des tourillons, citons en premier lieu une méthode originale, proposée par M. SMIRNOVA [66] en 1929. Dans cette méthode les corrections pour les imperfections des tourillons sont déduites des observations astronomiques, sans exiger l'étude spéciale des tourillons.

A. M. STAROSTIN [68] a construit en 1951 une installation avec un interféromètre du système I. T. UVERSKIJ pour l'étude des tourillons des instruments des passages transportables et des altazimuts. Cet instrument permet d'étudier les tourillons avec une précision de  $0.02 \div 0.03 \mu$  en moins d'une demi-heure. On peut utiliser cet appareil dans les conditions normales d'un laboratoire sans avoir recours à un thermostat.

Parmi les autres astronomes soviétiques qui se sont occupés du problème des irrégularités des tourillons, citerons V. T. BEDA [29], S. N. BLAŽKO [34], L. P. GORELOV [44], N. N. PAVLOV [61], G. A. TEVZADZE [76] et A. A. JAKOVKIN [103].



L'existence de la différence systématique entre les inclinaisons de l'axe horizontal d'un instrument des passages, déterminées dans le sens EW et WE, a été remarquée pour la première fois en 1846 par le Professeur de l'Université de Moscou B. SCHWEIZER. D'après le matériel rassemblé au cours d'un siècle, qu'on possède actuellement, cette différence se révéla égale à  $-0^s.005_5$ .

N. A. BLOHIN [35] a démontré que si l'on préservait le niveau de l'influence thermique de l'observateur, cette différence systématique disparaissait. L'influence thermique sur un instrument des passages fut étudiée aussi par d'autres auteurs [38, 43, 69, 79, 80].

Pour diminuer l'erreur de l'observation due à la différence des magnitudes visuelles des étoiles, S. N. BLAŽKO [32] a proposé en 1934 un procédé destiné à affaiblir l'éclat des étoiles brillantes jusqu'à une limite désirée. L'idée en est très simple: on place sur l'objectif d'un instrument des passages un cylindre en carton, dont la surface intérieure est munie de petites lampes, à l'aide desquelles on éclaire le champ de la lunette. On peut modifier l'éclat des lampes en variant la résistance. Près de l'oculaire est placé un disque tournant, au bord duquel se trouvent les filtres d'une transparence différente. En tournant le disque, on place le filtre de son choix devant l'oculaire et on diminue ainsi la magnitude visuelle de l'étoile.

Dans le même ordre d'idées on peut mentionner l'appareil de L. B. MEŠČANSKIJ [50] qui consiste en un secteur, tournant autour d'un axe immobile, disposé excentriquement par rapport à l'oculaire d'un instrument. Le secteur est muni de huit filtres, destinés à réduire les magnitudes visuelles des étoiles brillantes jusqu'à  $4^m.5$ .

La proposition de S. N. JAZEV [46, 48] de munir un instrument des passages de deux micromètres, peut servir pour la détermination de l'équation personnelle relative. Cette observation parallèle peut présenter aussi un intérêt dans l'enseignement de la technique d'observation aux observateurs-débutants.

L. B. MEŠČANSKIJ [191] a effectué les observations expérimentales avec une étoile artificielle. Il est arrivé à la conclusion que l'équation personnelle diminue avec l'augmentation de la vitesse apparente des étoiles.

De nombreuses études ayant démontré que la variation de l'équation personnelle tenait une place importante parmi les autres sources d'erreurs, surgit l'idée d'employer une méthode automatique de l'observation des passages.

Le premier essai de l'utilisation de la cellule photoélectrique pour l'enregistrement des passages des étoiles fut effectué en France en 1924 par G. FERRIÉ, R. JOUAUST et MESNY qui ont réussi d'enregistrer l'entrée de  $\alpha$  Lyrae dans le champ de l'équatorial de 28 cm de l'Observatoire de Paris. Une année plus tard, B. STRÖMGREN put enregistrer le passage de  $\alpha$  Arietis sur un chronographe à l'aide du cercle méridien de l'Observatoire de Copenhague ( $d = 120$  mm), muni d'un réseau métallique, placé dans le plan focal, et d'une cellule photoélectrique. Mais ce début intéressant n'a pas eu de développement pratique.

C'est seulement grâce aux travaux de N. N. PAVLOV [54-58, 99] que la réalisation pratique a eu lieu. N. N. PAVLOV commença ses recherches en 1934. Après plusieurs années d'efforts, il a pleinement résolu le problème et a réussi de faire les déterminations astronomiques de l'heure régulières, utilisées dans le travail courant du service de l'heure. A l'aide de l'instrument des passages de Bamberg ( $d=81$  mm,  $f=93$  cm), muni de l'installation photoélectrique, PAVLOV est arrivé à enregistrer les passages des étoiles jusqu'à  $8^m.7$ , ce qui dépassa la limite visuelle de cet instrument.

Sur la Fig. 1 est représenté le schéma général de l'installation photoélectrique et de l'appareil pour la détermination du retard.

De la résolution du problème de la détermination du retard dans l'amplificateur dépendait la possibilité même de l'utilisation pratique de la méthode photoélectrique. N. N. PAVLOV a résolu ce problème; il développa la théorie du retard pour le schéma de l'amplificateur du courant

continu et indiqua les moyens d'en tenir compte. PAVLOV étudia également l'influence de la grandeur de l'étoile, ainsi que les effets thermiques sur le retard [62]. Le retard moyen obtenu par lui est de l'ordre de  $0^s.5$ .

En 1950 V. È. BRANDT de l'Institut Géodésique à Moscou a réalisé une modification de l'installation photoélectrique de PAVLOV. Dans cette modification BRANDT a fait l'usage d'une radiolampe miniature, grâce à quoi il a pu réduire les dimensions de l'installation. D'autre part, il utilisa le photomultiplicateur d'électrons avec le multiplicateur du courant alternatif. Le retard de cette installation se révéla égal à  $0^s.06$  [100].

L'installation photoélectrique de V. È. BRANDT, montée sur l'instrument des passages de Bamberg ( $d=90$  mm), a permis d'enregistrer d'une manière très sûre les passages des étoiles jusqu'à  $6^{\text{me}}$  magnitude même pendant la mauvaise transparence de l'atmosphère et pendant la pleine Lune.

On doit mentionner que les essais, faits dans d'autres pays (Japon), n'ont pas donné des résultats satisfaisants.

N. N. PAVLOV et D. D. MAKUTOV ont eu l'idée d'unir dans un seul instru-

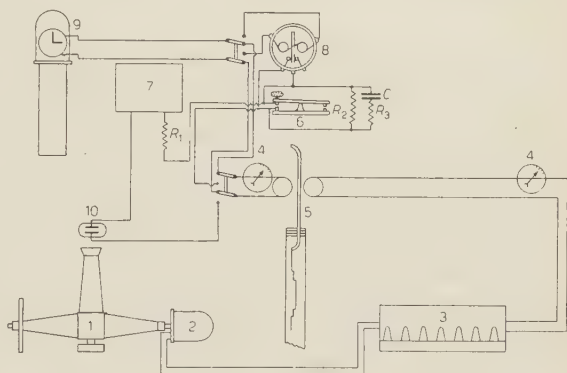


Fig. 1. — Schéma général de l'installation photoélectrique et de l'appareil pour la détermination du retard. (D'après DOLGOV [11]). 1. instrument des passages; 2. installation photoélectrique; 3. amplificateur; 4. milliampèremètre; 5. ondateur; 6. clé Morse; 7. redresseur; 8. relais; 9. horloge; 10. lampe à néon;  $R_1$ ,  $R_2$  et  $R_3$ : résistances;  $C$ , capacité.

ment le principe du télescope de Maksutov et la méthode photoélectrique d'enregistrement des passages des étoiles [59]. Le schéma de cet instrument des passages est représenté sur la Fig. 2.

Grâce à ses dimensions réduites la lunette de l'instrument de Pavlov et de Maksutov peut faire un tour complet autour de l'axe horizontal. La lunette

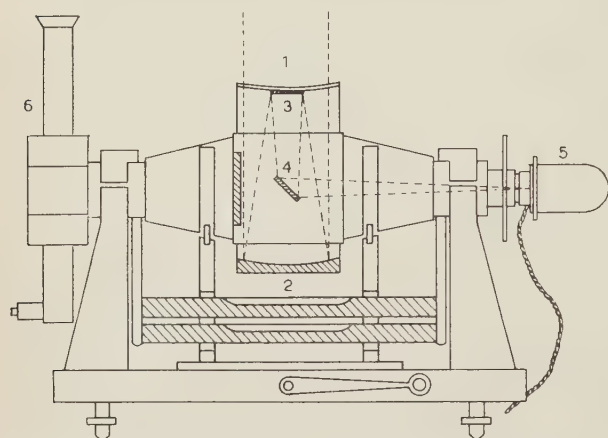


Fig. 2. — Schema général de l'instrument des passages de N. N. PAVLOV et de D. D. MAKUTOV. (D'après DOLGOV [11]). 1. ménisque sphérique ( $d=200$  mm); 2 et 3. les miroirs du télescope de Maksutov ( $f=2$  m); 4. système réflecteur; 5. installation photoélectrique; 6. chercheur.

est disposée presque symétriquement par rapport à l'axe de rotation et n'a pas besoin d'un contre-poids. La chambre, contenant l'installation photoélectrique, peut être enlevée et remplacée par un oculaire ordinaire, muni d'un micromètre impersonnel.

La qualité principale de l'instrument de Pavlov et de Maksutov est sa grande force optique. Avec un miroir de 20 cm de diamètre on pourra observer les étoiles jusqu'à 9<sup>m</sup>.

En 1937 sous la direction de D. F. TACULJA [75]

a été organisé le travail de la construction et de l'épreuve de l'instrument des passages de Danjon. Malheureusement, tout ce qui a été réalisé fut détruit pendant la guerre.

L'Ing. A. A. VODAR a construit en 1946 un chronographe imprimant qui a diminué considérablement le temps de la réduction des observations astronomiques [104, 150].

### 3. — Conservation de l'heure et pendules.

L'industrie horlogère soviétique construit actuellement ses propres pendules du type Shortt (usine « Étalon » à Léninegrad). A l'Institut Géodésique à Moscou l'Ing. P. S. POPOV a construit des horloges à quartz [127] pour le service de l'heure de l'Institut.

Les services horaires de l'URSS disposent actuellement pour la conservation de l'heure de dix horloges à quartz (dont une partie de construction soviétique), de quinze horloges à pendule de l'usine « Étalon » et de dix-huit horloges à

pendule Shortt. En URSS sont en cours les études approfondies sur l'amélioration des horloges à pendule [112], car la comparaison des horloges à pendule avec les horloges à quartz est souvent nécessaire dans les problèmes géophysiques.

Il faut mentionner les analyses très intéressantes de N. H. PREJPIČ sur l'application de la théorie des erreurs à l'étude de la marche des horloges et des chronomètres et aux déterminations des longitudes [129, 130, 132].

D'après les renseignements reçus récemment, le laboratoire de VNIM [Vsesojuznyj Naučno-Issledovatel'skij Institut Metrologii (Institut Central des Recherches Scientifiques de Métrologie)] à Léninegrad s'occupe de l'étude des pendules avec un balancier libre et un contact photoélectrique.

#### 4. — Diffusion de l'heure (signaux horaires).

La quantité des émissions soviétiques des signaux horaires a considérablement augmenté au cours des trente dernières années. En 1924 deux stations soviétiques donnaient chacune une émission journalière de signaux horaires rythmiques. Actuellement Moscou donne chaque jour dix séances d'émissions de signaux horaires sur ondes longues par les stations ROR et RES et sur ondes courtes par la station RWM. Les émissions de Tachkent sont effectuées deux fois par jour sur ondes courtes par la station RPT. En outre, Irkoutsk retransmet les émissions de RWM par la station RBT.

La qualité des émissions est devenue également supérieure.

Les astronomes soviétiques ont fait une série de recherches, ayant pour but l'amélioration de la réception des signaux horaires. Ainsi N. H. PREJPIČ proposa en 1924 une méthode très pratique de la réception des signaux horaires rythmiques à l'oreille à l'aide d'un chronomètre à contact. Cette méthode représente une modification de la méthode de Cooke [158, 160, 161]. Sa précision est très haute et cette méthode est encore souvent utilisée.

Actuellement un certain nombre des services horaires soviétiques ont adopté pour la réception des signaux horaires le chronoscope de l'ingénieur A. A. VODAR [166]. VODAR a utilisé le principe du comptage, inventé par le Prof. L. B. SOROKIN [163, 164]. L'appareil de VODAR permet de faire la comparaison des pendules, la réception des signaux horaires, de déterminer le retard dans les récepteurs, les relais et les autres appareils électriques avec la précision de  $0^s.001 \div 0^s.002$ .

La partie principale de cet appareil, représenté sur la Fig. 3, est un disque opaque. Sur la circonférence de ce disque sont disposés 100 chiffres transparents du 00 jusqu'à 99. Le disque fait un tour par seconde. Le moteur synchrone, qui tourne le disque, est alimenté par une lampe-triode. La constance de l'oscillation du triode est entretenue par un diapason. Sous le disque se trouve une lampe à néon, au-dessus de lui un indicateur et une lampe.



L'impulsion électrique, reçue par le chronoscope, allume la lampe à néon pour un intervalle de temps de l'ordre de  $10^{-4}$  s. L'œil de l'observateur en-

registre aisement le chiffre éclairé qui lui paraît immobile. Ce modèle du chronoscope fut employé pour la première fois à l'Institut de Sternberg en 1941.

À l'Institut Géodésique à Moscou P. S. POPOV [156] a proposé en 1940 sa nouvelle méthode stroboscopique de réception de signaux horaires, qui se révèle très précise.

Il faut mentionner les travaux de G. A. LOKŠIN sur l'utilisation d'un ampli-

ificateur à lampes pour la diminution et la stabilisation du retard dans la transmission, au lieu d'un relais mécanique qui était utilisé auparavant [152].

## 5. — Centralisation de l'heure.

J'ai déjà dit au commencement de cet article que l'on pouvait parler de service horaire au sens actuel du mot seulement après l'invention de la radio. La radio a supprimé l'isolément dans lequel travaillaient les services horaires du monde entier et a permis d'unir leurs efforts. Elle a donné aussi la possibilité de comparer les résultats des services de l'heure différents et d'en déduire les conclusions.

En ce qui concerne le service horaire soviétique, il entra dans une phase nouvelle de son travail le 1 Décembre 1920, quand l'Observatoire de Poulkovo a commencé d'émettre régulièrement les signaux horaires rythmiques. En 1924 le gouvernement soviétique a créé le Comité de l'Heure, ayant le siège à l'Observatoire de Poulkovo. Le but de ce Comité était de centraliser l'heure. A partir de 1925 le Comité publia régulièrement les résultats du travail des services horaires soviétiques. A partir de 1928 le Comité commença à publier les heures améliorées de la réception des signaux horaires rythmiques d'après l'ensemble des résultats des services de l'heure de l'URSS et de quelques stations étrangères (Observatoires de Greenwich, de Hambourg, de Paris et

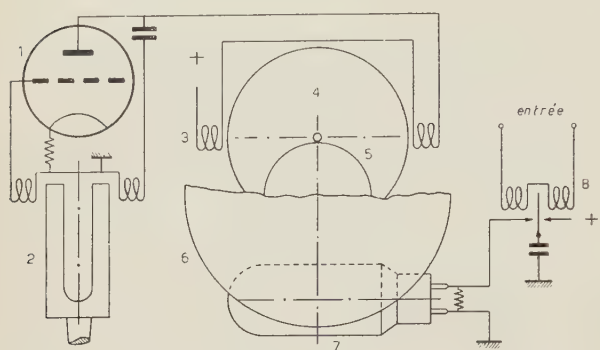


Fig. 3. — Schéma du chronoscope de A. A. VODAR. (D'après VODAR [166]). 1. lampe triode; 2. diapason; 3. bobine du moteur du chronoscope; 4. rotor du chronoscope; 5. réducteur; 6. disque chiffré; 7. lampe à néon; 8. relais d'entrée.

de Potsdam). Les heures améliorées étaient calculées d'après la méthode de N. H. PREJPIČ [177].

L'organisation du Comité de l'Heure a contribué beaucoup au développement des services horaires de l'URSS. Au commencement de l'activité du Comité il n'y avait que deux services horaires: celui de l'Observatoire de Poulkovo et de la Chambre Centrale des Poids et Mesures à Léninegrad (actuellement VNIIM). Au cours des années suivantes le nombre des services horaires alla en augmentant comme en témoigne le tableau ci-dessous:

TABLEAU I.

Année Services horaires participants

1924	Pou	Lm											
1929	Pou	Lm	Ta										
1931	Pou	Lm	Ta	Ma	Mg								
1935	Pou	Lm	Ta	Ma	Mg	Kh							
1938	Pou	Lm	Ta	Ma	Mg	Kh	Nk						
1942	—	Lm	Ta	Ma <sup>(1)</sup>	Mg <sup>(2)</sup>	—	—						
1945	—	Lm	Ta	Ma	Mg	—	—	Mm					
1948	Pou <sup>(3)</sup>	Lm	Ta	Ma	Mg	—	—	Mm	Ira				
1951	Pou <sup>(3)</sup>	Lm	Ta	Ma	Mg	Kh	Nk	Mm	Ira	Irm			
1952	Pou <sup>(3)</sup>	Lm	Ta	Ma	Mg	Kh	Nk	Mm	Ira	Irm	Rg		
1953	Pou	Lm	Ta	Ma	Mg	Kh	Nk	Mm	Ira	Irm	Rg	La	

(<sup>1</sup>) Emplacement provisoire à Sverdlovsk.

(<sup>2</sup>) Emplacement provisoire à Djamboul.

(<sup>3</sup>) Emplacement provisoire à Léninegrad.

Les abréviations utilisées dans le Tableau I indiquent respectivement les services horaires suivants:

Pou — Observatoire de Poulkovo,

Lm — Institut des Poids et Mesures (VNIIM) à Léninegrad,

Ta — Observatoire de Tachkent,

Ma — Institut Astronomique de Sternberg à Moscou,

Mg — Institut de Géodésie, de Photogrammétrie et de Cartographie à Moscou,

Kh — Observatoire de Kharkov,

Nk — Observatoire de Nikolaïev,

Mm — Institut des Radiomètres à Moscou,

Ira — Observatoire d'Irkoutsk,

Irm — Institut des Mesures à Irkoutsk,

Rg — Observatoire de Riga,

La — Observatoire de l'Université de Léninegrad.

La deuxième guerre mondiale a porté un coup extrêmement lourd à l'astronomie soviétique en général et au service de l'heure en particulier. Le service horaire de l'Observatoire de Poulkovo a cessé d'exister, car cet Observatoire fut complètement détruit. Les villes de Kharkov et de Nikolaïev furent occupées pendant un certain temps. Pendant la durée des hostilités on a dû transporter les deux services de l'heure de Moscou dans les régions éloignées du front. Jusqu'à la fin de la guerre, le service horaire de l'Institut de Sternberg qui se trouvait provisoirement à Sverdlovsk, assumait aussi la fonction du Comité de l'Heure [168, 169].

Après la guerre les services horaires de l'Institut de Sternberg et celui de l'Institut Géodésique furent réinstallés à Moscou et un troisième service horaire de cette ville fut créé à l'Institut des Radiomètres.

Actuellement l'URSS possède douze services horaires, dont sept complets. Dans tous les autres pays du monde entier il y a dix-sept services horaires. Les exigences des travaux géodésiques et gravimétriques d'une grande envergure ont provoqué un si rapide développement du réseau des services horaires soviétiques.

Les services de l'heure de l'URSS disposent en tout de quinze instruments des passages, à l'aide desquels observent vingt-neuf astronomes-observateurs. Trois de ces instruments sont munis d'une installation photoélectrique, les douze autres d'un micromètre impersonnel. Le nombre de déterminations astronomiques de l'heure, effectuées en URSS en 1953, est égal à 1295 [172]. La valeur de l'erreur quadratique moyenne d'une détermination de l'heure, faite d'après la méthode photoélectrique, est de l'ordre de  $\pm 0^s.015$ . La valeur d'une même erreur d'une détermination de l'heure, faite par la méthode visuelle, est de l'ordre de  $\pm 0^s.025$ .

Le travail de la centralisation des résultats des services horaires soviétiques s'effectue actuellement par l'Institut des Radiomètres à Moscou. On fait le calcul des heures améliorées d'après la méthode de N. N. PAVLOV [170] qui utilise les heures de réception des signaux en tenant compte des observations astronomiques brutes de chaque station horaire. Pour l'interpolation des résultats des observations on forme un groupe d'horloges, choisies parmi les meilleures de plusieurs stations différentes, et ce groupe sert de base. Depuis 1953 on tient compte dans le calcul des heures améliorées de l'influence du déplacement du pôle. Pour cela on utilise les coordonnées du pôle, calculées par l'Observatoire Gravimétrique de Poltava d'après la méthode du Prof. A. JA. ORLOV.

## 6. — Longitudes.

Le Bureau des Longitudes de l'Observatoire Central de Poulkovo travaillait en liaison étroite avec le Comité de l'Heure. Sur l'initiative du Bureau un

grand travail des déterminations des différences des longitudes fondamentales a été effectué sur le territoire de l'URSS. Ces déterminations ont été faites par la méthode classique (avec un échange des instruments et des observateurs).

En 1924 on a déterminé la longitude de la Chambre Centrale des Poids et Mesures à Léninegrad (actuellement VNIIM) par rapport à l'Observatoire de Poulkovo [192]. La longitude de l'Observatoire de Poulkovo par rapport à l'Observatoire de Greenwich était déterminée de nouveau en 1925 [181]. N. N. PAVLOV et I. N. JAZEY ont déterminé en 1928 la longitude de Nikolaïev (Observatoire) par rapport à l'Observatoire de Poulkovo [188]. En 1929 était déterminée la longitude de l'Institut Géodésique à Moscou par rapport à l'Observatoire de Poulkovo [190].

L'URSS a pris part dans les opérations mondiales des longitudes en 1926 et en 1933 et participera aussi dans l'opération de 1957-1958.

## 7. - Variations saisonnières de rotation de la Terre.

L'étude de la variation saisonnière de rotation de la Terre autour de son axe représente un problème qui utilise les résultats du travail des services horaires. L'existence de ces variations fut découverte en 1937 au Bureau International de l'Heure (Paris). On peut les obtenir en comparant les observations astronomiques avec les marches des horloges à quartz et des horloges à haute précision.

En 1950 les savants belges F. H. DUNGEN, J. F. COX et J. MIEGHEM ont effectué la première estimation de l'influence des variations saisonnières dans la circulation atmosphérique sur la vitesse angulaire de la Terre, considérée comme un corps solide.

N. N. PARLJSKIJ et O. S. BERLJAUD se sont penchés sur le même problème. Ils ont considérée dans leurs calculs deux modèles d'athmosphère:

- 1) l'athmosphère avec un gradient constant de la température;
- 2) l'athmosphère avec un gradient variable de la température.

Ces auteurs arrivèrent à la conclusion que les fluctuations saisonnières dans la circulation athmosphérique jouent un rôle important dans les variations saisonnières de rotation de la Terre, mais ne peuvent pas les expliquer complètement [202]. Au même résultat arrive PARLJSKIJ [198] en utilisant une autre méthode.

Le même auteur [199] a étudié le problème de l'influence de la nutation libre de la Terre sur la vitesse angulaire de sa rotation. Il a considéré le cas



de la Terre absolument solide. Les calculs de PARLISKIJ ont démontré que la valeur de l'amplitude des variations de la vitesse angulaire de la Terre, dues à sa nutation libre, est de l'ordre de  $9 \cdot 10^{-16}$  sec dans la durée du jour et peut ne pas être prise en considération pendant l'interprétation des variations de la vitesse angulaire de la Terre au cours d'une année.

## 8. — Bibliographie.

Avant de donner les références proprement dites, je donne ici la liste des principaux périodiques de l'URSS, consacrés aux questions astronomiques.

ABRÉVIATION	TRANSLITÉRATION DU TITRE RUSSE	TRADUCTION DU TITRE RUSSE.
<i>Astron. Cirk. Akad. Nauk SSSR</i>	<i>Astronomičeskij Cirkuljar</i>	<i>Circulaire astronomique</i>
(Edition de l'Académie des Sciences de l'URSS).		
<i>Astron. Kalen.</i>	<i>Astronomičeskij Kalendar</i>	<i>Calendrier astronomique</i>
<i>Astron. Žu. SSSR</i>	<i>Astronomičeskij Žurnal SSSR</i>	<i>Journal astronomique de l'URSS</i>
(Édition de l'Académie des Sciences de l'URSS. Paraît six fois par an. Donnait la bibliographie sur les questions astronomiques jusqu'à 1953. S'appelait <i>Russkij Astronomičeskij Žurnal - Journal astronomique Russe</i> , jusqu'à 1925).		
<i>Bjull. Abast. Astron. Obs.</i>	<i>Bjulleten' Abastumanskoj Astronomičeskoj Observatorii</i>	<i>Bulletin de l'Observatoire astronomique d'Abastuman</i>
<i>Bjull. Astron. Obs. im. Eng.</i>	<i>Bjulleten' Astronomičeskoj Observatorii imeni Engelhardta</i>	<i>Bulletin de l'Observatoire astronomique d'Engelhardt</i>
<i>Bjull. Ins. Teor. Astron.</i>	<i>Bjulleten' Instituta Teoretičeskoj Astronomii</i>	<i>Bulletin de l'Institut d'Astronomie Théorique</i>
(Avec l'en-tête imprimé en français jusqu'à 1947 inclus).		
<i>Bjull. Taš. Astron. Obs.</i>	<i>Bjulleten' Taškentskoj Astronomičeskoj Observatorii</i>	<i>Bulletin of the Tashkent astronomical Observatory</i>
(Avec l'en-tête imprimé en anglais jusqu'à 1947 inclus).		
<i>Bull. Com. Heure (Léningrad)</i>		<i>Bulletin du Comité de l'Heure à l'Observatoire de Poulkovo</i>
<i>Cirk. Glav. Astron. Obs. v Pulk.</i>	<i>Cirkuljar Glavnoj Astronomičeskoj Observatorii v Pulkove</i>	<i>Poulkovo Observatory Circular</i>

(Avec l'en-tête imprimé en anglais. Paraissait irrégulièrement de 1932 jusqu'à la guerre. Suspendu actuellement. Les articles étaient publiés en anglais, en français ou en allemand).

ABRÉVIATION	TRANSLITTÉRATION DU TITRE RUSSE	TRADUCTION DU TITRE RUSSE.
<i>Cirk. Gosud. Astron. Inst. im. Štern.</i>	<i>Cirkuljar Gosudarstvennogo Astronomičeskogo Instituta imeni Šternberga</i>	<i>Circulaire de l'Institut astronomique de l'État de Sternberg</i>
(Donne les heures de réception de signaux horaires au service de l'heure de l'Observatoire de l'Institut Astronomique de Sternberg).		
<i>Cirk. Taš. Astron. Obs.</i>	<i>Cirkuljar Taškentskoj Astronomičeskoy Observatorii</i>	<i>Circulaire de l'Observatoire astronomique de Tachkent</i>
(Publie les résultats du service de l'heure et du service du soleil).		
<i>Geod.</i>	<i>Geodezist</i>	<i>Géodésien</i>
(Périodique régulier).		
<i>Izv. Astron. Obs. im. Eng.</i>	<i>Izvestija Astronomičeskoy Observatorii imeni Engelhardta</i>	<i>Bulletin de l'Observatoire astronomique d'Engelhardt</i>
(S'appelait auparavant: <i>Publikacii Astronomičeskoy Observatorii imeni Engelhardta</i> ).		
<i>Izv. Glav. Astron. Obs. v Pulk.</i>	<i>Izvestija Glavnoj Astronomičeskoy Observatorii v Pulkove</i>	<i>Bulletin de l'Observatoire astronomique central à Poulkovo</i>
(Imprimé avec l'en-tête en français jusqu'à 1947 inclus. S'appelait <i>Izvestija Glavnoj Rossijskoj Astronomičeskoy Observatorii v Pulkove</i> jusqu'à 1925).		
<i>Publ. Kiev. Astron. Obs.</i>	<i>Publikacii Kievskoj Astronomičeskoy Observatorii</i>	<i>Publications de l'Observatoire astronomique de Kiev</i>
<i>Soobšč. Gosud. Astron. Inst. im. Štern.</i>	<i>Soobščeniya Gosudarstvennogo Astronomičeskogo Instituta imeni Šternberga</i>	<i>Communications de l'Institut astronomique de l'État de Sternberg</i>
(Edition de l'Université de Moscou. Paraît irrégulièrement, est consacrée aux travaux des astronomes de l'Institut Astronomique de Sternberg).		
<i>Sto Let Pulk. Obs.</i>	<i>Sto Let Pulkovskoj Observatorii</i>	<i>Centenaire de l'Observatoire de Poulkovo</i>
<i>Tehn. Služ. Vrem.</i>	<i>Tehnika Služby Vremeni</i>	<i>Technique du service de l'heure</i>
<i>Trudy Centr. Naučno-Issled. Inst. Geod. Aër. i Kart.</i>	<i>Trudy Central'nogo Naučno-Issledovatel'skogo Instituta Geodezii, Aëros'emki i Kartografii</i>	<i>Travaux de l'Institut central de Géodésie, Photogrammétrie et Cartographie</i>
<i>Trudy Geofiz. Inst. Akad. Nauk SSSR</i>	<i>Trudy Geofizičeskogo Instituta Akademii Nauk SSSR</i>	<i>Travaux de l'Institut de Géophysique de l'Académie des Sciences de l'URSS</i>
(Articles détaillés).		
<i>Trudy Glav. Astron. Obs. v Pulk.</i>	<i>Trudy Glavnoj Astronomičeskoy Observatorii v Pulkove</i>	<i>Travaux de l'Observatoire astronomique central à Poulkovo</i>
(Donne les résultats de recherches détaillés: catalogues d'étoiles, etc.).		

ABBREVIATION	TRANSLITÉRATION DU TITRE RUSSE	TRADUCTION DU TITRE RUSSE.
<i>Trudy Gosud. Astron. Inst. im. Stern.</i>	<i>Trudy Gosudarstvennogo Astronomičeskogo Instituta imeni Sternberga</i>	<i>Travaux de l'Institut astronomique de l'État de Sternberg</i>
(Donne les résultats de recherches détaillés).		
<i>Trudy Kaz. Gosud. Univ.</i>	<i>Trudy Kazanskogo Gosudarstvennogo Universiteta</i>	<i>Travaux de l'Université de Kazan</i>
<i>Trudy Polt. Grav. Obs.</i>	<i>Trudy Poltavskoj Gravimetričeskoj Observatorii</i>	<i>Travaux de l'Observatoire gravimétrique de Poltava</i>
(Edition de l'Académie des Sciences de l'URSS, Kiev).		
<i>Trudy Taš. Astron. Obs.</i>	<i>Trudy Taškentskoj Astronomičeskoj Observatorii</i>	<i>Travaux de l'Observatoire astronomique de Tachkent</i>
(Articles détaillés).		
<i>Trudy Tom. Gosud. Univ.</i>	<i>Trudy Tomskogo Gosudarstvennogo Universiteta</i>	<i>Travaux de l'Université de Tomsk</i>
<i>Trudy Vses. Naučno-Issled. Inst. Metr.</i>	<i>Trudy Vsesojuznogo Naučno-Issledovatel'skogo Instituta Metrologii</i>	<i>Travaux de l'Institut de Métrologie de l'URSS</i>
<i>Učen. Trudy Sibir. Sel'sko-Hozjajstv. Akad.</i>	<i>Učenyje Trudy Sibirskoj Sel'sko-Hozjajstvennoj Akademii</i>	<i>Travaux scientifiques de l'Académie Sibérienne d'Agriculture</i>
<i>Učen. Zap. Kaz. Gosud. Univ.</i>	<i>Učenyje Zapiski Kazanskogo Gosudarstvennogo Universiteta</i>	<i>Notes scientifiques de l'Université de Kazan</i>
<i>Usp. Astron. Nauk</i>	<i>Uspehi Astronomičeskikh Nauk</i>	<i>Progrès des Sciences astronomiques</i>
<i>Vveden v Praktičesk. Astron.</i>	<i>Vvedenija v Praktičeskiju Astronomiju</i>	<i>Introduction à l'Astronomie pratique</i>
<i>Zap. Voenno-topogr. Otd.</i>	<i>Zapiski Voenno-topografičeskogo Otdela</i>	<i>Notes de la Section de Topographie militaire</i>

## RÉFÉRENCES

## Chapitre 1.

- [1] P. I. BAKULIN: *Service de l'heure*, dans *Fizika v. Škole* [La Physique dans l'école], 9, n. 4, 6 (1949).
- [2] N. I. DNEPROVSKIJ: *Note on the work of the Time-service of Poulkovo Observatory during 1928-1929*, dans le *Bull. Com. Heure*, n. 10, 3 (Léningrad, 1931).
- [3] N. I. DNEPROVSKIJ: *Der Zeitdienst in der USSR*, dans les *C. R. de la 7<sup>ème</sup> Séance Commiss. Géod. Balt.*, 2<sup>ème</sup> partie: *Communications*, p. 32 (Moscou-Léningrad, 1934).
- [4] N. J. DNEPROVSKIJ: *Le temps, sa mesure et sa diffusion*, *Naučnoe-Knigoizdatel'stvo*, [Editions scientifiques], 110 pp. (1924).

- [5] N. I. DNEPROVSKIJ: *Sur le travail du service horaire*, dans *Astron. v SSSR za 15 Let*, [Quinze ans d'Astronomie dans l'URSS], p. 49 (1932).
- [6] N. I. DNEPROVSKIJ: *Service de l'heure*, dans *Vveden. v Prakt. Astron.*, 4, 369 (1936).
- [7] N. J. DNEPROVSKIJ: *L'état actuel des travaux sur le service horaire*, dans l'*Astron. Žu. SSSR*, 13, 244 (1936).
- [8] P. N. DOLGOV: *Sur l'organisation du service horaire*, dans *Vest. Akad. Nauk SSSR*, 7, n. 9, 67 (1937).
- [9] P. N. DOLGOV: *Service horaire de l'Institut Central de Géodésie, Photogrammétrie et Cartographie, en 1931-1932*, dans *Trudy Centr. Naučno-Issled. Inst. Geod. Aer. i Kart.*, 7, 5 (1933).
- [10] P. N. DOLGOV: *Service de l'heure en URSS*, Edition GTTI, 23 pp. (Moscou-Léninegrad, 1934).
- [11] P. N. DOLGOV: *Détermination de l'heure dans le méridien à l'aide d'un instrument des passages*, 396 pp. (Moscou, 1952).
- [12] A. A. IVANOV: *Problèmes du service de l'heure en URSS*, dans *Izv. Akad. Nauk SSSR, Ser. Tehn.*, n. 2, 125 (1938).
- [13] A. N. KUZNECOV: *Service de l'heure de l'Institut Central de Géodésie, Photogrammétrie et Cartographie*, dans *Geod.*, 8, (1940).
- [14] N. N. PAVLOV: *Service de l'heure*, dans *Sovetskaja Nauka* [Science soviétique], 1, 107 (1941).
- [15] N. N. PAVLOV: *Service de l'heure de l'Observatoire de Poulkovo*, dans *Sto Let Pulk. Obs.*, 135 (1945).
- [16] N. N. PAVLOV: *Service de l'heure actuel et ses problèmes immédiats*, dans *Tehn. Služ. Vrem.*, p. 10 (1938).
- [17] N. N. PAVLOV: *Service de l'heure*, dans *Astron. v SSSR za 30 Let*, [Trente ans d'Astronomie dans l'URSS], p. 39 (1948).
- [18] M. P. PAVLOV: *Technique de la mesure de vitesse et du temps*, 288 pp. (Moscou, 1950).
- [19] A. I. POSTOEV: *Service de l'heure de l'Observatoire Astronomique de Tachkent*, dans les *Trudy Taš. Astron. Obs.*, 4, 3 (1931); 5, 35 (1935).
- [20] N. H. PREJPIČ: *Détermination et conservation de l'heure*, dans *Vremennik Glavnoj Palaty Mer i Vesov*, [Annuaire du Bureau central des Poids et Mesures], 1, 41 (1925).
- [21] N. H. PREJPIČ et B. I. RAK: *Service de l'heure de la Chambre Centrale des Poids et Mesures*, dans *Vremennik Glavnoj Palaty Mer i Veov*, 2, 59 (1928).
- [22] M. A. SMIRNOVA: *Service de l'heure de l'Institut Astronomique de Sternberg*, dans l'*Astron. Žurn. SSSR*, 11, 170 (1934).
- [23] V. ŠAPOŠNIKOV: *Service de l'heure de l'Institut des travaux géodésiques et gravimétriques*, dans l'*Astron. Žu. SSSR*, 11, 173 (1934).
- [24] A. V. VINOGRADOV: *État et problèmes du service horaire*, dans *Tehn. Služ. Vrem.*, p. 41 (1938).
- [25] M. S. ZVEREV: *Service de l'heure de l'URSS pendant la guerre*, dans *Astron. Kalen.* 50, 132 (1947).
- [26] M. S. ZVEREV et A. A. NEMIRO: *Service de l'heure*, dans le recueil *Glav. Astron. Obs. Akad. Nauk SSSR v Pulk.*, p. 65 (1953).
- [27] M. S. ZVEREV: *Service de l'heure de l'Institut Astronomique de Sternberg pendant la période 1941-1944*, dans les *Trudy Gosud. Astron. Inst. im. Štern.*, 18, n. 1, 3 (1949).
- [28] V. A. ROSSOVSKAJA: *Le temps et sa mesure* (Moscou-Léninegrad, 1933).



## Chapitre 2.

- [29] V. T. BEDA: *Étude des tourillons des instruments des passages de l'Observatoire de Tachkent*, dans les *Trudy Taš. Astron. Obs.*, **4**, 123 (1954).
- [30] JA. I. BELJAEV: *Erreur systématique de l'inclinaison de l'instrument des passages Bamberg*, dans *Izv. Glav. Astron. Obs. v Pulk.*, n. 97 (1926).
- [31] JA. I. BELJAEV: *Différence systématique des azimuts des instruments des passages, d'après les culminations supérieures et inférieures des étoiles circumpolaires*, dans *Izv. Glav. Astron. Obs. v Pulk.*, n. 100 (1927).
- [32] S. N. BLAŽKO: *Sur un dispositif pour l'élimination de l'équation de magnitude des observations à l'aide d'un instrument des passages*, dans *Astron. Žu. SSSR*, **13**, 242 (1936).
- [33] S. N. BLAŽKO: *Sur la réduction des étoiles circumpolaires de la position moyenne du début de l'année à la position apparente*, dans *Astr. Žu. SSSR*, **20**, 4 (1943).
- [34] S. N. BLAŽKO: *Sur l'influence des imperfections des tourillons sur la détermination du moment de la culmination des astres*, dans *Astr. Žu. SSSR*, **22**, 23 (1945).
- [35] N. A. BLOHIN: *Sur les altérations des valeurs de l'inclinaison de l'axe horizontal des instruments des passages de Bamberg*, dans *Geod.*, n. 7-8 (1926).
- [36] N. A. BLOHIN: *Instrument des passages transportable de Bamberg muni d'un micromètre impersonnel dans la détermination de l'heure*, dans le *Suppl. au Geod.*, (1932).
- [37] V. É. BRANDT: *Sur le choix des étoiles pour la détermination de l'heure et d'azimut à l'aide d'un instrument des passages*, dans les *Trudy Centr. Naučno-Issled. Inst. Geod. Aér. i Kart.*, **64**, 60 (1949).
- [38] V. D. DEREVJANKIN: *Azimut d'un instrument astronomique en fonction de la température*, dans les *Trudy Centr. Naučno-Issled. Inst. Geod. Aér. i Kart.*, **3**, 67 (1948).
- [39] P. N. DOLGOV: *Détermination de l'heure dans le méridien à l'aide d'un instrument des passages transportable, muni d'un micromètre impersonnel*, (Moscou-Léninegrad, 1935).
- [40] P. N. DOLGOV: *Détermination de l'heure d'après le méthode de Zinger à l'aide d'un altazimut muni d'un micromètre impersonnel, en utilisant les tables des angles de position*, dans les *Trudy Centr. Naučno-Issled. Inst. Geod. Aér. i Kart.*, **24**, 1 (1938).
- [41] P. N. DOLGOV et K. N. SMIRNOV: *Étude de vis du micromètre d'un oculaire des instruments astrogéodésiques*, 111 pp. (Moscou, 1929).
- [42] D. GEDEONOV: *Sur la détermination de l'heure à l'aide d'un instrument des passages*, dans *Zap. Voenno-topogr. Otd.* (1884).
- [43] JA. P. GORELIK: *Sur la variation de l'inclinaison de l'axe horizontal de l'instrument des passages Bamberg en fonction de la température*, dans les *Soobšč. Gosud. Astron. Inst. im. Štern.* **90-91**, 44 (1953).
- [44] L. P. GORELOV: *Étude des tourillons de l'instrument des passages Bamberg 9327 par la méthode de l'autocollimation*, dans les *Soobšč. Gosud. Astron. Inst. im. Štern.*, **55**, 3 (1950).
- [45] J. N. JAZEV: *Détermination de l'heure d'après la méthode du Prof. N. D. Pavlov dans Učen. Trudy Sibir. Sel'sko.-Hozjajstv. Akad.*, **5**, 1 (1925).
- [46] I. N. JAZEV: *Instrument des passages muni de deux micromètres*, dans *Geod.*, **1-2**, (1938).
- [47] I. N. JAZEV: *Sur la différence systématique des corrections des pendules, déterminées au service de l'heure de l'Observatoire de Poulkovo*, dans *Geod.*, **4**, (1935).

- [48] I. N. JAZEY: *Passageinstrument mit zwei Mikrometern*, dans *Astron. Nachr.*, **252**, (6025), 1 (1934).
- [49] A. N. KUZNECOV: *Sur l'emploi d'un mécanisme de fermeture pendant les déterminations de l'heure et de la longitude*, dans les *Trudy. Centr. Naučno-Issled. Inst. Geod. Aér. i Kart.*, **64**, 89 (1949).
- [50] L. B. MEŽČANSKIJ: *L'équation personnelle des observations astronomiques et les appareils pour sa détermination*, dans *Geodezia*, **9** (1949).
- [51] M. M. MUSSELIUS et G. FEDOROV: *Essai de la détermination simultanée de l'heure à l'aide d'un instrument des passages et d'après la méthode de Zinger*, dans l'*Astron. Žu. SSSR*, **7**, 41 (1930).
- [52] M. M. MUSSELIUS: *Les instruments pour la mesure du temps*, dans *Vredn. v Prakt. Astron.*, part III, 263 (1936).
- [53] M. M. MUSSELIUS: *Stabilität der Chronographenregistrierung bei Spannungsschwankungen im Stromkreise*, dans le *Bull. Com. Heure*, n. 10, 17 (Léningrad, 1931).
- [54] N. N. PAVLOV: *Sur l'automatisation des déterminations astronomiques de l'heure*, dans *Tehn. Služ. Vrem.*, p. 26 (1938).
- [55] N. N. PAVLOV: *Enregistrement photoélectrique des passages des étoiles*, dans *Izv. Akad. Nauk SSSR, Ser. Fiz.*, **4-5**, 633 (1937).
- [56] N. N. PAVLOV: *Enregistrement photoélectrique des passages des étoiles*, dans les *Trudy Glav. Astron. Obs. v Pulk.*, **59**, 1 (1946).
- [57] N. N. PAVLOV: *Photocell in Astronomical Determination of Time*, dans la *Cirk. Glav. Astron. Obs. v Pulk.*, **26-27**, 64 (1939).
- [58] N. N. PAVLOV: *Enregistrement photoélectrique des passages des étoiles*, dans la *Circ. Glav. Astron. Obs. v Pulk.*, **24**, 53 (1938).
- [59] N. N. PAVLOV: *Instrument des passages à ménisque*, dans *Izv. Glav. Astron. Obs. v Pulk.*, **18**, n. 146, 29 (1951).
- [60] N. N. PAVLOV: *Compensation de la capacité à l'entrée d'une lampe-électromètre*, dans *Izv. Glav. Astron. Obs. v Pulk.*, **18**, n. 146, 40 (1951).
- [61] N. N. PAVLOV: *Sur l'étude des tourillons d'un instrument des passages transportable*, dans *Izv. Glav. Astron. Obs. v Pulk.*, **18**, n. 146, 82 (1951).
- [62] N. N. PAVLOV: *Sur les effets thermiques dans les instruments des passages retournables*, dans l'*Astron. Žu. SSSR*, **30**, 85 (1953).
- [63] N. N. PAVLOV: *L'utilisation de la cellule photoélectrique dans l'astronomie de position*, dans *Priroda [Nature]*, **28**, 57 (1939).
- [64] N. N. PAVLOV: *L'utilisation des cellules photoélectriques dans la détermination des positions des étoiles et des corrections des pendules*, dans l'*Astron. Žu. SSSR*, **18**, 80 (1941).
- [65] G. P. PIL'NJAK: *Sur la détermination de l'inclinaison d'un instrument des passages*, dans les *Soobšč. Gosud. Astron. Inst. im. Štern.*, **90-91**, 3 (1953).
- [66] M. SMIRNOVA: *Examen des résultats des déterminations de l'heure à l'aide d'un instrument des passages*, dans *Izv. Fiz.-Matem. Fak. I Mosk. Gosud. Univ.*, **1**, 256 (1929).
- [67] M. SMIRNOVA: *Sur la détermination de l'heure*, dans le *Russ. Astron. Žu.*, **4**, 28 (1927).
- [68] A. M. STAROSTIN: *Sur l'étude des tourillons des instruments des passages et des altazimuts*, dans les *Trudy Centr. Naučno-Issled. Inst. Geod. Aér. i Kart.*, **87**, (1952).
- [69] L. A. SUHAREV: *Quelques effets thermiques et élastiques dans les instruments astronomiques*, dans *Izv. Glav. Astron. Obs. v Pulk.*, **18**, 2 (1950).
- [70] V. P. ŠČEGLOV: *Sur la précision des déterminations astronomiques de l'heure*, dans l'*Astron. Žu. SSSR*, **24**, 55 (1947).

- [71] V. P. ŠČEGLOV: *Détermination de l'heure*, dans *Priroda*, **32**, 3 (1943).
- [72] V. P. ŠČEGLOV: *Sur les soi-disant erreurs saisonnières des déterminations de l'heure à l'aide des instruments des passages*, dans *Astron. Žu. SSSR*, **27**, 54 (1950).
- [73] V. P. ŠČEGLOV: *Étude de quelques erreurs systématiques de la détermination de l'heure à l'aide d'un instrument des passages transportable*, dans *Astron. Žu. SSSR*, **27**, 357 (1950).
- [74] K. A. ŠTEINS: *Sur le choix des étoiles pour la détermination de l'heure*, dans *Astron. Žu. SSSR*, **30**, 540 (1953).
- [75] D. F. TACULJA: *Instrument des passages de Danjon*, dans *Geodezia*, **9**, (1949).
- [76] G. A. TEVZADZE: *Étude des tourillons de l'instrument des passages transportable de Bamberg*, dans le *Bjull. Abast. Astron. Obs.*, **5**, 49 (1940).
- [77] S. S. TOVČIGREČKO: *Sur la détermination de la valeur du tour du micromètre oculaire des instruments astronomiques transportables*, dans les *Trudy Vses. Naučno-Issled. Inst. Metr.*, **2**, 73 (1947).
- [78] V. M. VASIL'EV: *Sur les différences de température des parties différentes de trois instruments des passages du service de l'heure*, dans *Astron. Žu. SSSR*, **29**, 708 (1952).
- [79] V. M. VASIL'EV: *Sur l'existence des différences de température dans le corps des instruments des passages du service horaire et sur l'influence de ces différences sur les erreurs d'observation*, dans les *Dokl. Akad. Nauk SSSR*, **88**, 631 (1935).
- [80] V. VASIL'EV: *Sur l'élimination des erreurs des observations astronomiques, dues aux changements irréguliers de la température de l'instrument*, dans *Astron. Cirk. Akad. Nauk SSSR*, **140**, 9 (1953).
- [81] V. M. VASIL'EV: *Sur l'erreur systématique dans la détermination de l'inclinaison de l'axe horizontal dans un instrument des passages*, dans *Astron. Žu. SSSR*, **31**, 467 (1954).
- [82] A. S. VASIL'EV: *Sur un dispositif pour l'augmentation de précision de la lecture du niveau*, dans *Izv. Akad. Nauk SSSR*, **12**, 837 (1909).
- [83] A. S. VASIL'EV: *Méthode la plus sûre de la détermination de qualité des niveaux à fiole et de qualité de leur examen*, dans *Izv. Akad. Nauk SSSR*, **16-17**, 699 (1925).
- [84] A. S. VASIL'EV: *Comparaison des méthodes de l'auteur, de W. Struve et de N. Zinger pour l'examen des niveaux à fiole*, dans *Izv. Akad. Nauk SSSR*, **1-2**, 85 (1926).
- [85] A. S. VASIL'EV: *Condition du nivellement sûr de l'axe horizontal des instruments des passages*, dans *Izv. Akad. Nauk SSSR*, **4-5**, 319 (1928).
- [86] A. S. VASIL'EV: *Évaluation irréaliste de la précision du nivellement de l'axe horizontal des instruments des passages*, dans *Izv. Akad. Nauk SSSR, Ser. Fiz.-Mat.*, **2**, 151; **3**, 215; **4-5**, 303 (1928).
- [87] A. A. VODAR: *Amélioration du contact du micromètre impersonnel*, dans les *Soobšč. Gosud. Astron. Inst. im. Stern.*, **31**, 14 (1949).
- [88] M. S. ZVEREV: *Sur l'étude des vis micrométriques*, dans *Geod.*, **10**, (1937).
- [89] M. S. ZVEREV: *Sur les termes correctifs de la formule de réduction de Mayer*, dans *Astron. Žu. SSSR*, **22**, 102 (1945).
- [90] M. S. ZVEREV: *Sur «l'effet du vent» dans les observations astronomiques*, dans *Astron. Žu. SSSR*, **23**, 165 (1946).
- [91] M. S. ZVEREV: *Sur le calcul des anomalies de la refraction d'après les données des observations astronomiques*, dans *Astron. Žu. SSSR*, **23**, 97 (1946).
- [92] M. S. ZVEREV: *Étude des résultats des observations astronomiques du service de*

l'heure de l'Institut Astronomique de l'Etat de Sternberg, effectuées pendant la période 1941-1944, dans les *Trudy Gosud. Astron. Inst. im. Štern.*, **18**, 22 (1950).

- [93] M. S. ZVEREV: Sur quelques erreurs systématiques des observations à l'aide d'un instrument des passages, dans *Vestnik Moskovskogo Universiteta* [Communications de l'Université de Moscou], **3**, 23 (1948).
- [94] M. S. ZVEREV: Sur le choix des étoiles pour les observations à l'aide d'un instrument des passages, dans *Astron. Žu. SSSR*, **25**, 267 (1948).
- [95] P. N. DOLGOV: Untersuchungen über die Zeitbestimmung nach dem Zingerschen Verfahren mit einem Universalinstrument unter Verwendung eines selbstregistrierenden Mikrometers, dans les *C. R. VIII sess. Commiss. Géod. Balt.*, p. 232 (Tallin-Tartu, 1935).
- [96] W. K. DOELLEN: Die Zeitbestimmung vermittelst des tragbaren Durchgangsinstrumentes in der Verticalen des Polarsternes (St.-Pétersbourg, 1863).
- [97] N. JA. CINGER (Zinger): Die Zeitbestimmung aus correspondierenden Höhen verschiedener Sterne (Leipzig, 1877).
- [98] A. J. KONSTANTINOV: Entraînement électromécanique du micromètre pour les observations des passages des étoiles, dans les *Trudy 10<sup>i</sup> Vses. Astrometr. Konf.*, p. 151 (Léningrad, 1954).
- [99] N. N. PAVLOV: État actuel du problème d'enregistrement photoélectrique des passages des étoiles, dans les *Trudy 10<sup>i</sup> Vses. Astrometr. Konf.*, p. 161 (Léningrad, 1954).
- [100] V. È. BRANDT: Installations photoélectriques de l'Institut Central de Géodésie, Photogrammétrie et Cartographie pour l'enregistrement des passages des étoiles et premiers résultats de leur utilisation, dans les *Trudy 10<sup>i</sup> Vses. Astronometr. Konf.*, p. 164 (Léningrad, 1954).
- [101] V. M. VASIL'EV: Influence des variations de la température de l'instrument sur la précision des observations astronomiques et les appareils pour l'étude des différences de la température dans le corps d'un instrument astronomique, dans les *Trudy 10<sup>i</sup> Vses. Astronometr. Konf.*, p. 183 (Léningrad, 1954).
- [102] N. N. PAVLOV: Sur les effets thermiques dans les instruments des passages du service de l'heure, dans les *Trudy 10<sup>i</sup> Vses. Astrometr. Konf.*, p. 191 (Léningrad, 1954).
- [103] A. A. JAKOVKIN: Sur l'étude des tourillons d'un instrument des passages, dans les *Trudy 10<sup>i</sup> Vses. Astrometr. Konf.*, p. 226 (Léningrad, 1954).
- [104] A. A. VODAR: Chronographe imprimant, dans les *Soobšč. Gosud. Astron. Inst. im. Štern.*, **31**, 8 (1949).

### Chapitre 3.

- [105] Z. M. AKSELROD: *Mécanismes horlogers*, 360 pp. (Moscou-Léningrad, 1947).
- [106] P. A. AZBUKIN: Synchronisation des pendules, dans *Tehn. Služ. Vrem.*, p. 51 (1938).
- [107] P. A. AZBUKIN: A Study of the Electric Schema of Clock Comparisons at the Poulkovo Observatory, dans *Izv. Glav. Astron. Obs. v Pulk.*, **11**, n. 100, 11 (1927).
- [108] P. I. BAKULIN: Sur l'augmentation de la précision des déterminations des corrections de pendule, dans les *Soobšč. Gosud. Astron. Inst. im. Štern.*, n. 42, 24 (1950).



- [109] V. T. BEDA: *Régime thermique de la cave des pendules de l'Observatoire de Tachkent*, dans les *Trudy Taš. Astron. Obs.*, ser. 2, **4**, 129 (1954).
- [110] JA. I. BELJAEV: *Chronomètre-vernier*, dans les *Izv. Glav. Astron. Obs. v Pulk.*, **9**, n. 90, 125 (1924).
- [111] N. B. BOGORODNICKAJA: *Étude des contacts de la pendule Riefler n. 323*, dans les *Soobšč. Gosud. Astron. Inst. im. Štern.*, **55**, 20 (1950).
- [112] L. D. BRYŽŽEV: *Sur la construction des horloges à pendule parfaites*, dans l'*Astron. Žu. SSSR*, **24**, 183 (1947).
- [113] V. D. DEREVJANKIN: *Comparaison des pendules à l'aide d'un chronoscope et détermination des erreurs périodiques du contact*, dans les *Trudy Vses. Naučno-Issled. Inst. Metr.*, **11**, 50 (1950).
- [114] N. J. DNEPROVSKIJ: *On the Rates of the Clocks Riefler 24 and Riefler 352 during the Years 1916-1924*, dans *Izv. Glav. Astron. Obs. v Pulk.*, **11**, n. 100, 19 (1927).
- [115] N. I. DNEPROVSKIJ and M. M. MUSSELIUS: *The new Electric Schema of Clock Installations at the Poulkovo Observatory*, dans *Izv. Glav. Astron. Obs. v Pulk.*, **11**, n. 102, 183 (1928).
- [116] V. S. FLIGELMAN et I. JU. ROGINSKIJ: *Mécanismes horlogers*, 272 pp. (Lénin-grad, 1947).
- [117] A. I. FROLOV: *Sur le coefficient dynamique et thermique des pendules*, dans *Sbornik Statej po GKAG [Sbornik Statej po Geodezii, Kartografii, Aëros'emke i Gravitmetrii (Recueil des articles de Géodesie, Cartographie, Photogrammetrie et Gravit-métrie)]*, **24**, 35 (1949).
- [118] A. P. KONSTANTINOV: *Kontaktlose Signaleinrichtungen in Uhren*, dans le *Bull. Com. Heure*, n. 10, p. 21 (Lénin-grad, 1931).
- [119] A. N. KUZNECOV: *Sur le polissage des corrections des pendules et des détermi-nations des ascensions droites des étoiles*, dans *Sbornik Statej po GKAG*, **25**, 70 (1950).
- [120] A. N. KUZNECOV: *Sur le polissage des corrections des pendules des services horaires*, dans les *Trudy Centr. Naučno-Issled. Inst. Geod. Aër. i Kart.*, **64**, 86 (1949).
- [121] A. A. MIHAJLOV: *Sur le polissage des corrections des pendules*, dans le *Bjull. Taš. Astron. Obs.*, **2**, 271 (1941).
- [122] A. S. MIROLJUBOVA: *Preliminary Investigation of the Daily Rate of the Riefler n. 323 Clock of the Moscow Observatory*, dans le *Russ. Astron. Žu.*, **1**, 96 (1924).
- [123] A. S. MIROLJUBOVA: *Marches journalières de la pendule Riefler 323 pendant la période 1929-1932*, dans l'*Astr. Žu. SSSR*, **12**, 105 (1935).
- [124] B. A. ORLOV: *Étude des pendules de l'Observatoire de Nikolaïev*, dans *Izv. Glav. Astron. Obs. v Pulk.*, **19**, n. 148, 140 (1952).
- [125] N. N. PAVLOV: *Différences systématiques des corrections des pendules, déterminées par le service de l'heure de Poulkovo*, dans l'*Astron. Žu. SSSR*, **11**, 81 (1934).
- [126] M. P. PAVLOV: *Sur l'emploi du pendule libre pour le mécanisme des horloges astro-nomiques*, dans les *Trudy Vses. Naučno-Issled. Inst. Metr.*, **2**, 55 (1947).
- [127] P. S. POPOV: *Horloge à quartz*, dans les *Trudy Centr. Naučno-Issled. Inst. Geod. Aër. i Kart.*, **64**, 71 (1949).
- [128] A. I. POSTOEV: *Pendule libre de Shortt*, dans les *Trudy Taš. Astron. Obs.*, **4**, 14 (1931).
- [129] N. H. PREJPIČ: *Sur un paradoxe apparent dans les applications de la théorie des erreurs aux marches des chronomètres*, dans *Geod.*, **6**, 58 (1936).
- [130] N. H. PREJPIČ: *Sur une méthode d'extrapolation des corrections des pendules*, dans les *Trudy Vses. Naučno-Issled. Inst. Metr.*, **3**, 91 (1933).

- [131] N. H. PREJPIČ: *Sur la conservation de l'heure à l'aide des chronomètres*, dans l'*Astron. Žu. SSSR*, **21**, 111 (1944).
- [132] N. H. PREJPIČ: *Application de la théorie des erreurs aux marches des pendules et des chronomètres et à la réduction des déterminations de longitude*, dans les *Trudy Vses Naučno-Issled. Inst. Metr.*, **2**, 47 (1932).
- [133] N. H. PREJPIČ: *Chronomètres et horloges astronomiques*, dans *Geodezia*, t. **7**, p. 124; p. 155 (1939).
- [134] N. H. PREJPIČ: *Pendule Shortt et horloges à quartz*, dans *Tehn. Služ. Vrem.*, p. 35 (1938).
- [135] N. H. PREJPIČ et O. BLUMBERG: *De l'application des corrections homogènes aux C<sub>aa</sub> du Bureau International de l'Heure*, dans *Astron. Nachr.*, **229**, n. 17, 313 (1927).
- [136] N. H. PREJPIČ-FREJBERG: *Über die Ausgleichung der Zeitdienstresultate*, dans *Astron. Nachr.*, **234**, n. 7, 145 (1929).
- [137] N. H. PREJPIČ: *Sur l'épreuve des montres à arrêt*, dans les *Trudy Vses. Naučno-Issled. Inst. Metr.*, **2**, 31 (1947).
- [138] N. H. PREJPIČ: *Conservation de l'heure*, dans les *Trudy Vses. Naučno-Issled. Inst. Metr.*, **3**, 7 (1948).
- [139] V. A. ROSSOVSKAJA: *Étalon du temps* (Léninegrad, 1941).
- [140] V. G. ŠAPOŠNIKOV: *Schema électrique de l'installation des pendules du service de l'heure de l'Institut Central de Géodésie, Photogrammétrie et Cartographie*, dans les *Trudy Centr. Naučno-Issled. Inst. Geod. Aér. i Kart.*, **7**, 46 (1933).
- [141] L. P. ŠIŠELOV: *Mécanique du mécanisme horloger* (Léninegrad, 1932 et 1935).
- [142] S. M. TEREŠKOVA: *Méthode de l'Institut de Métrologie de l'URSS pour la conservation de l'heure et sa comparaison avec la méthode du Bureau International de l'Heure*, dans les *Trudy Vses. Naučno-Issled. Inst. Metr.*, **3**, 15 (1948).
- [143] A. V. VINOGRADOV: *Remise à l'heure automatique des pendules*, dans *Tehn. Služ. Vrem.*, 55 (1938).
- [144] A. A. VODAR: *Systèmes électriques synchronisantes*, dans l'*Astron. Žu. SSSR*, **16**, 56 (1939).

#### Chapitre 4.

- [145] P. I. BAKULIN: *Sur quelques problèmes liés avec l'utilisation du chronographe imprimant*, dans les *Soobšč. Gosud. Astron. Inst. im. Štern.*, **31**, 17 (1949).
- [146] V. Ž. BAL'ŽINOVA: *Essai de réception des signaux rythmiques*, dans les *Dokl. Akad. Nauk Uzbek. SSR*, n. 9, 17 (1952).
- [147] V. È. BRANDT: *Photochronographe*, dans les *Trudy Centr. Naučno-Issled. Inst. Geod. Aér. i Kart.*, **87**, (1952).
- [148] P. O. ČEČIK: *Sur quelques particularités du montage du schéma Cooke-Prejpič*, dans l'*Astron. Žu. SSSR*, **21**, 176 (1944).
- [149] JU. N. FADEEV: *Sur la précision de la réception automatique des signaux horaires*, dans les *Publ. Har'k. Astron. Obs.*, **7**, 85 (1941).
- [150] T. V. KLIMOVA: *Résultats d'étude d'un chronographe imprimant*, dans les *Soobšč. Gosud. Astron. Inst. im. Štern.*, **31**, 20 (1949).
- [151] V. L. LISSAN: *Récepteur automatique pour la réception des signaux horaires*, dans les *Trudy Vses. Naučno-Issled. Inst. Metr.*, **13**, 88 (1936).
- [152] G. A. LOKŠIN: *Technique de la transmission des signaux horaires*, dans *Tehn. Služ. Vrem.*, 29 (1938).

- [153] A. S. MIRO LJUBOVA: *De la réception des signaux horaires sur ondes longues et courtes*, dans les *Soobšč. Gosud. Astron. Inst. im. Štern.*, **55**, 30 (1950).
- [154] N. N. PAVLOV: *Influence du retard du récepteur sur les moments d'enregistrement des signaux horaires*, dans l'*Astron. Žu. SSSR*, **22**, 293 (1945).
- [155] N. N. PAVLOV: *Méthodes de la réception des signaux horaires*, dans *Vveden. v Prakt. Astron.*, 347 (1936).
- [156] P. S. POPOV: *Nouvelle méthode de la réception des signaux rythmiques au service horaire de l'Institut Central de Géodésie, Photogrammétrie et Cartographie*, dans *Geod.*, **11**, (1940).
- [157] A. I. POSTOEV: *Sur un schema pour la méthode sémi-automatique de la réception des signaux rythmiques*, dans *Geod.*, **3**, (1935).
- [158] N. H. PREPIČ: *Modification de la méthode Cooke pour la réception des signaux rythmiques*, dans *Izv. Ross. Astron. Obs. v Pulk.*, **25**, 26 (1924).
- [159] N. H. PREPIČ: *Recherche sur les récepteurs automatiques système Dr. E. Huth et B. A. Smirénine*, dans le *Bull. Com. Heure*, n. 10, p. 53 (Léningrad, 1931).
- [160] B. I. RAK: *Comparaison de la méthode de Cooke et de l'enregistrement automatique d'après les réceptions horaires en 1927*, dans le *Bull. Com. Heure*, n. 10, p. 61 (Léningrad, 1931).
- [161] B. I. RAK: *Sur la réception des signaux rythmiques d'après la méthode modifiée de W. E. et F. A. Cooke*, dans *Vremennik Glavnoj Palaty Mer i Vesov* [Annuaire du Bureau central des Poids et Mesures], **2**, 58 (1928).
- [162] B. A. SMIRENIN: *Amplificateur pour l'enregistrement automatique des signaux horaires approprié aux ondes de 2000 à 25000 m*, dans le *Bull. Com. Heure*, p. 47 (Léningrad, 1931).
- [163] L. V. SOROKIN: *Appareil pour la réception et l'émission des signaux horaires*, dans les *Trudy Gosud. Astron. Inst. im. Štern.*, **18**, n. 2, 3 (1950).
- [164] L. V. SOROKIN: *Ein visuelles Verfahren zum Empfang rhythmischer Zeitsignale bei Pendelbeobachtungen*, dans les *O. R. IX Sess. Comm. Géod. Balt.*, p. 257 (Helsinki, 1936).
- [165] V. G. ŠAPOŠNIKOV: *Sur la méthode de Cooke*, dans l'*Astron. Žu. SSSR*, **11**, 390 (1934).
- [166] A. A. VODAR: *Chronoscope*, dans les *Soobšč. Gosud. Astron. Inst. im. Štern.*, **31**, 3 (1949).
- [167] I. D. ŽONGOLOVIČ: *Signaux horaires*, 60 pp. (Léningrad, 1940).

# Chapitre 5.

- [168] P. I. BAKULIN: *Résultats des déterminations de la précision des heures améliorées de l'Institut Astronomique de l'Etat de Šternberg pour la période 1944-1946*, dans l'*Astron. Žu. SSSR*, **24**, 237 (1947).
- [169] P. I. BAKULIN: *Heures améliorées des signaux rythmiques pour la période 1947-1948*, dans l'*Astron. Žu. SSSR*, **27**, 305 (1950).
- [170] D. JU. BELOCERKOVSKIJ: *Description de la méthode du calcul des heures améliorées, Heures améliorées des signaux rythmiques pour Janvier 1951*, (Edition Centr. Naučno-Issled. Bjuro Vrem. 1951).
- [171] D. JU. BELOCERKOVSKIJ: *Évaluation de la précision des heures améliorées de l'année 1951, Heures améliorées des signaux rythmiques pour février 1952* (Edition Centr. Naučno-Issled. Bjuro Vrem. 1952).
- [172] D. JU. BELOCERKOVSKIJ: *Précision du calcul des heures améliorées pour 1953, Heures améliorées des signaux rythmiques pour Mars 1954*, (Edition Centr. Naučno-Issled. Inst. Radioizmer. 1954)

- [173] P. N. DOLGOV: *Sur les heures améliorées des signaux horaires rythmiques*, dans *Tehn. Služ. Vrem.*, p. 15 (1938).
- [174] A. N. KUZNECOV: *Sur le calcul des heures améliorées des émissions des signaux horaires rythmiques*, dans les *Trudy Centr. Naučno-Issled. Inst. Geod. Aér. i Kart.*, **64**, 48 (1949).
- [175] N. N. PAVLOV: *Sur le calcul de l'influence du déplacement du pôle dans les services horaires*, dans les *Trudy Vtoroj Vsesojuznoj Širotnoj Konferencii* [Travaux de la 2<sup>ème</sup> Conférence générale des latitudes], p. 65 (Kiev, 1950).
- [176] N. H. PREJPIČ: *Essai de la réduction des déterminations horaires du Bureau International de l'Heure (Septembre 1923-Décembre 1925) en un système homogène*, dans *Astron. Nachr.*, **228**, n. 14, 249 (1926).
- [177] N. H. PREJPIČ: *Sur le calcul des heures améliorées des signaux rythmiques*, dans les *Trudy Vses. Naučno-Issled. Inst. Metr.*, **3**, 54 (1933); voir aussi *Astron. Nachr.*, **234**, n. 7 (1928).
- [178] N. H. PREJPIČ: *Sur la méthode de calcul rapide des heures améliorées préliminaires et sur l'extrapolation des corrections des pendules pour les nécessités des émissions de l'heure*, 39 pp. (Moscou-Léninegrad, 1937).
- [179] M. S. ZVEREV: *Sur le calcul des heures améliorées des signaux horaires*, dans l'*Astron. Žu. SSSR*, **20**, 40 (1943).

#### Chapitre 6.

- [180] P. A. AZBUKIN: *Principes d'un schéma électrique des instruments, utilisés pendant la détermination de la différence des longitudes Poulkovo-Greenwich*, dans les *Trudy Glav. Astron. Obs. v Pulk.*, **34**, 23 (1928).
- [181] JA. I. BELJAEV and N. I. DNEPROVSKIJ: *Determination of the difference of Longitude between Poulkovo and Greenwich by Wireless*, dans les *Trudy Glav. Astron. Obs. v Pulk.*, **34**, 1 (1928); voir aussi *Dokl. Akad. Nauk SSSR*, p. 239 (1927).
- [182] V. D. DEREVJANKIN: *Réduction de la longitude de l'Institut de Métrologie de l'URSS, déterminée en 1924, dans le système FK3*, dans les *Trudy Vses. Naučno-Issled. Inst. Metr.*, **2**, 49 (1947).
- [183] N. I. DNEPROVSKIJ: *Sur le plan des travaux en URSS pendant l'opération des longitudes mondiales 1933*, dans les *Trudy Astrometr. Konf. 1932*, p. 128 (1933).
- [184] N. I. DNEPROVSKIJ: *Sur les méthodes contemporaines de la détermination des longitudes*, dans *Mirovedenie*, **20**, 48 (1931).
- [185] P. N. DOLGOV et M. S. ZVEREV: *Programme de la détermination des points fondamentaux de longitude dans la partie nord de l'URSS*, dans *Sbornik Glavnogo Upravljenija Geodezii i Kartografii* [Recueil de la Direction centrale de Géodésie et Cartographie], **15**, 72 (1947).
- [186] L. P. GORELOV: *Longitude de l'Observatoire Astronomique de l'Institut de Sternberg à Moscou*, dans les *Soobšč. Gosud. Astron. Inst. im. Štern.*, **50**, 1 (1950).
- [187] I. N. JAZEV: *Sur une différence dans la détermination des longitudes*, dans l'*Astron. Žu. SSSR*, **11**, 77 (1934).
- [188] I. N. JAZEV et N. N. PAVLOV: *Détermination de la différence des longitudes Nikolaïev-Poulkovo par la télégraphie sans fil*, dans les *Trudy Glav. Astron. Obs. v Pulk.*, **42**, 1 (1933).
- [189] A. N. KUZNECOV: *Sur l'influence des erreurs des heures définitives des signaux horaires sur la détermination des longitudes*, dans les *Trudy Centr. Naučno-Issled. Inst. Geod. Aér. i Kart.*, **64**, 35 (19394).



- [190] I. M. MATKEVIČ et N. V. CIMMERMAN: *Détermination de la différence des longitudes Moscou-Poulkovo*, dans les *Trudy Centr. Naučno-Issled. Inst. Geod. Aér. i Kart.*, **10**, 3 (1935).
- [191] L. B. MEŽČANSKIJ: *Sur l'équation personnelle dans la détermination des longitudes*, dans *Geod.*, **5**, (1940).
- [192] N. H. PREJPIČ et B. I. RAK: *Détermination de la différence des longitudes Poulkovo-Léningrad (Institut de Métrologie de l'URSS) par la télégraphie sans fil*, dans les *Trudy Vses. Naučno-Issled. Inst. Metr.*, **13**, 7 (1936).
- [193] N. H. PREJPIČ: *Détermination unilatérale de longitude de la Chambre Centrale, des Poids et Mesures exécutée en Octobre-Novembre 1926*, dans le *Bull. Com. Heure*, n. 10, p. 39 (Léningrad, 1931).
- [194] V. P. ŠČEGLOV: *Déterminations mondiales des longitudes comme méthode de l'étude du mouvement des continents*, dans les *Trudy Sovešč. po Metod. Izuč. Dviž. Deform. Zem. Kor.* [*Trudy Soveščanija po Metodam Izučeniija Dviženij i Deformacij Zemnoj Kory (Travaux de la Conférence sur les méthodes de l'étude des mouvements et déformations de la croûte terrestre)*], p. 120 (1948).
- [195] V. P. ŠČEGLOV: *Déterminations mondiales des longitudes comme méthode de l'étude du déplacement des continents*, dans *Voenno-Topogr. Sbornik*, **5**, 66 (1946).
- [196] V. M. VASIL'EV: *Nouvelle réduction des déterminations de la longitude de Poulkovo*, dans *Izv. Glav. Astron. Obs. v Pulk.*, **19**, n. 150, 70 (1953).

#### Chapitre 7.

- [197] E. P. FEDOROV: *Sur l'influence des variations du niveau de l'océan, dues au mouvement de rotation de la Terre, sur ce mouvement*, dans les *Dokl. Akad. Nauk SSSR*, **67**, 647 (1949).
- [198] N. N. PARIJSKIJ: *Variations de la rotation de la Terre et de ses déformations*, dans les *Trudy Sovešč. po Metod. Izuč. Dviž. i Deform. Zem. Kor.*, p. 157 (1948).
- [199] N. N. PARIJSKIJ: *Sur l'influence de la nutation libre de la Terre sur la vitesse angulaire de rotation de la Terre*, dans les *Trudy Geofiz. Inst., Akad. Nauk SSSR*, **19**, 123 (1953).
- [200] N. N. PARIJSKIJ: *Variation de la durée du jour et déformation de la Terre*, dans *l'Astron. Žu. SSSR*, **22**, 106 (1945).
- [201] N. N. PARIJSKIJ: *Variation annuelle de la vitesse de rotation de la Terre*, dans les *Trudy Geofiz. Inst. Akad. Nauk SSSR*, **19**, 53 (1953).
- [202] N. N. PARIJSKIJ et O. S. BERLJAND: *Influence des fluctuations saisonnières de la circulation atmosphérique sur la vitesse de rotation de la Terre*, dans les *Trudy Geofiz. Inst., Akad. Nauk SSSR*, **19**, 103 (1953).

## Rapport succinct sur les travaux russes d'astronomie fondamentale.

N. STOYKO

*Observatoire de Paris*

(ricevuto l'8 Febbraio 1955)

---

### SOMMAIRE

1. Introduction. — 2. Catalogues d'étoiles fondamentales. — 3. Méthodes d'observations et de réductions. — 4. Instruments astrométriques et leurs erreurs. — 5. Catalogue d'étoiles faibles, comme problème astrométrique. — 6. Constantes fondamentales d'astronomie. — 7. Déplacement du pôle. — 8. Bibliographie.

### 1. — Introduction.

L'astronomie fondamentale est une partie de l'astronomie qui s'occupe de la détermination des coordonnées des astres, de leurs variations et des constantes fondamentales d'astronomie.

L'ère nouvelle pour l'astronomie de position en Russie a commencé avec la création de l'Observatoire de Poulkovo (1839). Ses travaux classiques dans le domaine de la détermination des positions précises des étoiles ont fait une époque dans l'astronomie [3, 9, 12, 19].

En 1847 AIRY, astronome royal d'Angleterre, après sa visite de l'Observatoire de Poulkovo, a écrit: « Aucun astronome ne peut compter qu'il a appris l'astronomie moderne dans sa forme la plus perfectionnée, s'il n'a pas fait la connaissance avec l'Observatoire de Poulkovo dans toutes ses particularités ».

B. GOULD, astronome américain, qui a visité l'Observatoire de Poulkovo presque au même temps qu'AIRY, a donné à l'Observatoire le nom de « Capitale astronomique du Monde ».

Le chemin tracé par le premier directeur de Poulkovo, W. STRUVE, dans le domaine de l'astronomie fondamentale a été poursuivi pendant cent ans sans interruption. Seulement la démolition de l'Observatoire pendant la deuxième guerre mondiale a fait un temps d'arrêt. Mais la reconstruction rapide de l'Observatoire agrandi et modernisé a donné un nouveau essor aux travaux astrométriques.

Les observatoires de Kazan, de Kharkov, de Kiev, de Moscou, de Nikolaïev, d'Odessa et de Tachkent [12] ont participé aussi aux travaux astrométriques [8, 16, 17].

Pendant les dernières années ont paru beaucoup de manuels d'astronomie pratique [2, 4, 5, 7]. Ils exposent les méthodes d'observations astrométriques, dont une partie est originale (Méthodes de Zinger, de Pevtsov et d'autres). Des idées nouvelles et des mises au point sur les problèmes actuels d'astrométrie ont été exposées par N. DNEPROVSKIJ [6], B. NUMEROV [11], M. ZVEREV [16-18].

Les exposés uniques dans leur genre sur les catalogues fondamentaux et sur leur formation ont été faits par B. RAK [14] et P. BAKULIN [1].

## 2. — Catalogues d'étoiles fondamentales.

Une partie de l'astronomie fondamentale s'occupe de la formation du système des coordonnées célestes des astres. Comme conclusion de ce travail on a un catalogue fondamental qui donne des positions les plus exactes d'un certain nombre d'étoiles et leurs mouvements propres.

Le travail principal d'un observatoire classique est la formation d'un catalogue absolu, c'est-à-dire d'un système des positions d'étoiles rapporté au Soleil (au point vernal et à l'équateur) par l'observation directe. C'est ce problème qui a été posé à l'Observatoire de Poulkovo par son fondateur W. STRUVE. On a créé à Poulkovo les célèbres catalogues absolus de 1845, 1865, 1885, 1905 et 1930 qui remplissent les volumes de *Travaux (Trudy) de l'Observatoire*.

La précision des observations astronomiques a été augmentée à Poulkovo grâce à la séparation des observations des deux coordonnées des étoiles. L'ascension droite des étoiles a été observée à l'instrument des passages d'Ertel par les astronomes F. RENZ, P. JAŠNOV, L. MATKEVIČ et L. SEMENOV [67-72] qui ont formé les catalogues absolus de 1915 et de 1930. Au cercle vertical de Repsold N. DNEPROVSKIJ, L. MATKEVIČ et autres [42-44] ont formé les catalogues d'ascensions droites. Au cercle méridien JA. BELJAEV, M. MORIN, A. KONDRAT'EV et autres [25, 61, 74] ont observé les catalogues d'étoiles supplémentaires.

À l'observatoire de Nikolaïev qui est une succursale de l'Observatoire de Poulkovo, il faut mentionner les travaux au cercle vertical de G. CIMMER-

MAN [27] et de B. KUDRJAŦEV [55] et à l'instrument des passages de P. JAŠNOV et de N. CIMMERMAN [53].

A l'Observatoire d'Engelhardt près de Kazan les nombreux travaux des catalogues ont été faits par I. DJUKOV [32-39]. Il faut mentionner aussi les travaux de L. ČERNIEV [30] et V. KONIN [54] à Odessa, de M. DIČENKO [31] à Kiev et de B. MODESTOV [59] à Moscou.

Étant donné que chaque catalogue observé à un seul instrument possède des erreurs systématiques et accidentelles, tant instrumentales que personnelles, il faut, après la discussion de l'ensemble des catalogues, former le catalogue fondamental.

Le catalogue fondamental en déclinaison a été formé par N. DNEPROVSKIJ [41] et en ascension droite par F. RENZ [66] d'après les observations de l'Observatoire de Poulkovo, de Nikolaïev et de 10 observatoires étrangers. Ces deux catalogues contiennent 1631 étoiles de la liste Backlund-Hough et donnent les positions les plus exactes des étoiles brillantes d'après les observations des 20 dernières années.

Comme ces catalogues n'étaient pas suffisants pour les travaux astro-géodésiques, on a décidé à la Conférence astrométrique de 1932 de réobserver les étoiles du catalogue de 1334 étoiles de Poulkovo, pour former le catalogue fondamental de 2957 étoiles brillantes de l'hémisphère nord (jusqu'à  $-10^\circ$ ). Ce grand travail a été fait sous la direction de N. CIMMERMAN [29] aux instruments méridiens de 5 observatoires soviétiques: Poulkovo, Moscou, Engelhardt près de Kazan, Nikolaïev et Tachkent.

Les études sur les méthodes d'observation, de formation et de comparaison des catalogues ont été faites par I. DJUKOV [36], N. DNEPROVSKIJ [46], A. NEMIRO [62], B. NUMEROV [64] et F. RENZ [65].

L'importance de ces travaux d'astronomie fondamentale est très grande étant donné leur utilisation dans la statistique stellaire, dans l'étude de la rotation de la galaxie, ainsi que dans les applications pratiques à la géodésie, cartographie, service de l'heure, etc..

### 3. — Méthodes d'observations et de réductions.

Comme on demande une précision extrême aux catalogues absolus et fondamentaux, il faut prendre toutes les précautions possibles pendant les observations des positions d'étoiles et pendant leurs réductions.

Les erreurs systématiques en déclinaison ont attiré l'attention de I. DJUKOV [78], de B. NUMEROV [95, 96] et surtout de N. DNEPROVSKIJ [81]. N. DNEPROVSKIJ a proposé pour l'élimination des erreurs systématiques en déclinaison la méthode d'observation avec le même cercle vertical dans l'hémi-



sphère nord et sud [82-84]. Dans ce cas certaines erreurs entrent avec les signes opposés dans les résultats d'observations.

N. DNEPROVSKIJ [85] a élaboré aussi une méthode de la détermination des erreurs en déclinaison à l'aide d'observations du Soleil. Étant donné que dans les résultats d'observations en déclinaison entrent les pointés au nadir, A. NEFED'EVA [93] a étudié l'influence de la variation du point de nadir des cercles méridiens.

V. ŠAPOŠNIKOV [98-100] a proposé une méthode de la détermination absolue de déclinaison en utilisant le principe de la symétrie zénithale. G. CIMMERMAN a donné une méthode simplifiée de calcul des déclinaisons d'étoiles [80].

La méthode des hauteurs égales a attiré toujours l'attention des astronomes soviétiques [76, 77]. S. FEDČUN a essayé de simplifier les calculs de réduction dans le cas de la méthode de PEVTZOV [88]. S. DROZDOV [86, 87] et P. LOGINOV [92] ont établi les méthodes pour la détermination des déclinaisons d'étoiles en utilisant les observations aux zénith-télescopes.

Les méthodes de la détermination d'ascensions droites ont attiré aussi l'attention des astronomes soviétiques. On a commencé la publication des méthodes de l'école d'astrométrie fondamentale de Poulkovo, mais à notre regret cette publication s'est arrêtée après le 1<sup>er</sup> fascicule de P. JAŠNOV [82]: P. JAŠNOV a commencé d'exposer les déterminations absolues d'ascensions droites. M. BYKOV [79] a donné la méthode de la détermination des erreurs systématiques d'ascensions droites dans le cas de la formation du catalogue absolu.

M. ZVEREV [103-105], P. LOGINOV [91] et A. NEMIRO [94] se sont occupés de la réduction des observations méridiennes. Étant donné que les déterminations des coordonnées géographiques ont été faites en utilisant les différents catalogues d'étoiles, M. ZVEREV [102] a donné la méthode de la réduction des coordonnées géographiques et de l'azimut à un même système fondamental.

#### 4. — Instruments astronomiques et leurs erreurs.

L'activité astrométrique, qui est très grande en URSS, a donné lieu aux études des cercles méridiens [108, 134], des cercles verticaux, des instruments des passages, des zénith-télescopes [113, 147] et des altazimuts [137]. KONDRAT'EV-FREIBERG [128], constructeur à l'Observatoire de Poulkovo, a décrit, d'après sa longue expérience, les difficultés dans la construction des instruments des passages et des cercles méridiens.

L'étude des détails des instruments astrométriques a donné lieu à des nombreux travaux. Dans le cas de la détermination des déclinaisons d'étoiles on a deux erreurs principales: l'erreur des divisions des cercles et la flexion du tube de l'instrument. La première erreur peut être étudiée presque dans

les conditions du laboratoire. C'est un travail très long et délicat, mais on est bien obligé de le faire.

L. AGAFONOVA [106, 107] a étudié le cercle de l'instrument méridien de l'Observatoire d'Engelhardt, P. BAKULIN et M. ZVEREV ont étudié celui de Moscou. V. ELISTRATOV [122-124] avec JA. GORDON [125] ont étudié le cercle méridien de Poulkovo, D. PJASKOVSKIJ [144] celui de Kiev et V. ŠČEGLOV [155] celui de Tachkent. Ces auteurs ont donné dans leurs travaux la discussion des méthodes de la détermination des erreurs de cercles. Cette discussion a été développée par B. NUMEROV [109], V. NUMEROVA [141] et V. ELISTRATOV [124]. G. CIMMERMAN [114] a généralisé la méthode de Bonsdorff pour la détermination des corrections d'observations provenant des erreurs des divisions du cercle. A. JAKOVKIN s'occupait de la relation entre les erreurs des divisions du cercle et la flexion du tube.

Les astronomes soviétiques ont étudié beaucoup la question de la flexion du tube des lunettes. On ne peut pas déterminer toujours la flexion des lunettes par les méthodes purement physiques: il faut prendre en considération les observations astronomiques. G. CIMMERMAN [115] a déterminé la flexion en même temps que la réfraction et la latitude. N. DNEPROVSKIJ [120] a déterminé la flexion en fonction de la variation de la température, tandis que P. JAŠNOV [133] et B. ORLOV [142] ont étudié l'influence de la flexion sur les distances zénithales et sur la déclinaison des étoiles. A. NEFED'EVA et L. AGAFONOVA [136] ont étudié la flexion horizontale du cercle méridien de l'Observatoire d'Engelhardt. I. DJUKOV [118] a étudié la flexion des cercles méridiens et des zénith-télescopes, de plus, V. ELISTRATOV [121] a proposé une méthode nouvelle de la détermination de la flexion des lunettes.

G. CIMMERMAN [116] et N. PAVLOV [143], en étudiant les discordances entre les systèmes des déclinaisons des cercles verticaux de Repsold et d'Ertel de Poulkovo, ont trouvé que cette discordance provenait de la flexion du tube du cercle vertical de Repsold. Cette flexion ne s'élimine pas quand on change de place l'objectif et l'oculaire. N. PAVLOV explique cette flexion par les effets thermiques sur les différentes parties du tube et par la réfraction anormale produite à l'intérieur de ce tube. Il faut, d'après N. PAVLOV, protéger le tube du cercle des influences thermiques extérieures. G. CIMMERMAN [27, 116], au contraire, trouve que les différences systématiques des distances zénithales proviennent de la variation de la flexion du tube qui se produit au moment de changement des places de l'objectif et de l'oculaire du cercle vertical de Repsold.

JA. BELJAEV [111] et E. FEDOROV [126] ont cherché les causes des discordances et des variations des constantes instrumentales telles que l'azimut et l'inclinaison de l'axe de la lunette. Les autres parties des instruments ont été étudiées aussi. E. FEDOROV [127], V. PODOBED [145] et V. SAHAROV [152] ont étudié le micromètre de l'oculaire des instruments astrométriques, tandis

que A. IL'INIČ [131], B. NUMEROV [138] et V. PODOBED [146] ont étudié les tourillons.

N. POPOV [148] a étudié l'influence de la température sur la distance focale et la valeur du tour de vis micrométrique du zénith-télescope de Poltava. L'allongement du tube avec l'augmentation de la température est plus grand que celui de la distance focale. Pour conserver la mise au foyer, quand la température monte, il faut approcher le plan des fils du micromètre vers l'objectif. La variation de la mise au foyer pour la variation de  $1^{\circ}$  de température est égale à  $-17 \cdot 10^{-4}$  cm ( $f = 176$  cm). Le coefficient d'augmentation de la distance focale de l'objectif avec la température est égal à  $1.9 \cdot 10^{-6}$  et celui du tube à  $11.6 \cdot 10^{-6}$ .

Les nombreux astronomes et constructeurs ont proposé et ont construit des instruments astrométriques nouveaux. I. DJUKOV [119] a proposé un cercle méridien pour la mesure directe des sommes et des différences zénithales des étoiles culminantes au nord et au sud du zénith. Cet instrument est composé de 3 lunettes, dont une est dirigée vers le nadir.

A. IL'INIČ [130] a proposé un instrument méridien horizontal destiné à la mesure des déclinaisons d'étoiles. La lunette est remplacée par le double miroir. Les images réfléchies par ce miroir sont observées avec deux collimateurs horizontaux. L. SUHAREV [153, 154] a construit à l'observatoire de Poulkovo une maquette du cercle méridien horizontal. La partie principale de l'instrument est un miroir plat métallique qui tourne autour de l'axe horizontal et qui dirige la lumière d'étoiles à l'une des deux lunettes horizontales qui se trouvent au nord et au sud du miroir. L'instrument est muni des appareils auxiliaires: les collimateurs pour observer la position de l'axe du miroir, les mires pour le contrôle de l'azimut, l'horizon artificiel, etc.. La stabilité de cet instrument doit être plus grande que celle des instruments classiques.

V. LINNIK [135] a construit un instrument des passages interférentiel. L'idée principale de la méthode consiste dans la détermination du moment de passage de l'étoile à travers le plan donné en utilisant la propriété d'interféromètre périscopique découverte par V. LINNIK. Dans cet interféromètre devant l'objectif se trouve un système de quatre miroirs plans parallèles deux à deux et inclinés à  $45^{\circ}$  par rapport à la ligne qui réunit leurs centres. La précision des pointés est égale à  $0^{\text{s}}.001$  à l'équateur.

## 5.<sup>5</sup> — Catalogue d'étoiles faibles, comme problème astrométrique.

Jusqu'au dernier temps les catalogues fondamentaux ont été composés des étoiles brillantes, qu'on rattachait directement au Soleil. Le développement de la photographie astronomique, ainsi que de la statistique stellaire, ont provoqué la nécessité d'avoir un catalogue fondamental d'étoiles faibles.



Ce problème a été posé pour la première fois à la Conférence astrométrique de 1932 à Poulkovo par N. DNEPROVSKIJ et B. GERASIMOVIC [163]. Étant donné qu'on ne peut pas rattacher les étoiles faibles directement au Soleil, on a pensé de les rattacher par l'intermédiaire des petites planètes. Le problème du rattachement du catalogue aux astéroïdes a été développé principalement par B. NUMEROV [158, 180, 182] et par M. SUBBOTIN [185-187]. Les travaux sur les petites planètes pour le catalogue d'étoiles faibles se poursuivent actuellement à l'Institut d'Astronomie Théorique de Léninegrad. On étudie le mouvement des astéroïdes Cérès, Pallas, Junon, Hébé et Laetitia. Les observations précises de ces petites planètes, ainsi que celle de Vesta se poursuivent à l'aide d'un astrographe normal (champ  $2^\circ \times 2^\circ$ ).

A cause de la rotation galactique à laquelle prend part le Soleil, le système des coordonnées n'est pas inertial. Le rattachement des positions des étoiles aux nébuleuses extragalactiques permettra de se rapprocher au système inertial. Ce système inertial sera exempt de tous les mouvements propres à notre Galaxie. La question du rattachement du catalogue aux nébuleuses extragalactiques a été développée par G. NEUJMIN [183], P. KULIKOVSKIJ [170], K. JAHONTOV [167] et N. FATCHIN [164-166], ainsi que par A. DEJČ [159] et ses collaborateurs [160]. On a établi une liste des nébuleuses extra-galactiques qu'on a révisé plusieurs fois, afin d'améliorer leur distribution dans le ciel et de choisir les nébuleuses ayant un aspect stellaire.

On photographie ces nébuleuses extra-galactiques avec les astrographes de Poulkovo, de Moscou [171], de Kiev et de Tachkent. La précision des mesures des positions des nébuleuses sur les plaques photographiques est 1,5 plus faible que celle des étoiles. Les photographies des nébuleuses extra-galactiques et des petites planètes se poursuivent également aux États-Unis.

P. JAŠNOV [168, 169] a étudié la méthode des chaînes pour la détermination d'un système régularisé d'ascensions droites des étoiles faibles. Beaucoup des travaux théoriques ont été faits par B. NUMEROV [176-179, 181] sur les erreurs systématiques des ascensions droites et des déclinaisons d'étoiles dans le but de la formation du catalogue d'étoiles faibles.

Il faut mentionner les travaux sur le programme et l'organisation des observations de I. DJUKOV [161, 162], D. MARTYNOV [172] et M. ZVEREV [190].

On a choisi à Moscou la liste de 931 étoiles faibles fondamentales, dont 645 au nord de  $-30^\circ$  [191]. Ces 645 étoiles sont obligatoires pour chaque instrument méridien pour l'étude des propriétés des l'instrument. Ce travail est déjà fait par l'observatoire de Tachkent [174] en ascension droite. On a publié les observations en déclinaison de l'Observatoire d'Engelhardt [156, 157].

Ainsi le travail du catalogue d'étoiles faibles de l'URSS se divise en cinq parties étroitement liées [188]: 1) Observations méridiennes absolues de 1000 étoiles faibles fondamentales; 2) Rattachement de ces étoiles au catalogue FK3 par des observations méridiennes différentielles; 3) Observations méri-



diennes de près de 20 000 étoiles du grand catalogue; 4) Observations photographiques et visuelles d'astéroïdes choisis; 5) Observations photographiques des nébuleuses extragalactiques.

## 6. — Constantes fondamentales de l'astronomie.

La question des constantes astronomiques est une des plus importantes de l'astronomie en général. Les constantes qu'on rencontre toujours en astrométrie sont celles de la précession, de l'aberration, de la nutation et, au moment de l'observation, de la refraction.

La valeur de la constante de la précession a été déterminée en Russie plusieurs fois. Déjà O. STRUVE en 1842 a déterminé la valeur de la constante de la précession en comparant les étoiles observées à Dorpat (de 1822 à 1838) avec les positions de Bradley (1755). Il a tenu compte, pour la première fois, de l'influence du mouvement du Soleil sur sa valeur [221]. Cette valeur a été adoptée jusqu'à la fin du 19<sup>m</sup>e siècle.

N. NYREN et L. STRUVE ont déterminé la valeur de la constante de la précession en utilisant un grand nombre d'étoiles. N. PARJSKIJ, K. OGORODNIKOV et V. FESENKOV [227] ont fait une nouvelle détermination de la constante de la précession en utilisant les mouvements propres des étoiles de Bradley, dont les parallaxes sont connues. Ils ont trouvé la correction à la constante de Newcomb  $\Delta p_1 = +0''.84$ .

JA. GORDON [202] en comparant le catalogue de SCHJELLERUP (1865) avec celui de MORIN-KONDRAT'EV (1900) a trouvé la correction  $\Delta p_1 = +1''.28 \pm 0''.20$  à la constante de la précession de Newcomb. P. BAKULIN [192] a étudié les mouvements propres des étoiles des sous-systèmes plats. Il a tenu compte de la rotation de la galaxie et du mouvement du Soleil en espace. Il a trouvé  $\Delta p_1 = -0''.65 \pm 0''.15$  pour la correction de la constante de la précession de Newcomb.

Ces résultats montrent qu'il faut corriger la constante de la précession de Newcomb d'une valeur de l'ordre de  $\pm 0''.9$ , en accord avec les données trouvées dans les autres pays.

La constante de l'aberration trouvée par W. STRUVE ( $20''.45$ ) est restée, aussi, en usage général jusqu'à la fin du 19<sup>e</sup> siècle. Elle a été remplacée par la valeur de  $20''.47$ , qu'on utilise encore actuellement. M. GRAČEV [203] a trouvé la constante de l'aberration égale à  $20''.52$  d'après presque toutes les valeurs connues. V. BERG [113] en discutant ses propres observations au zénith-télescope de Poulkovo a trouvé  $20''.504$  pour la constante de l'aberration. K. KULIKOV [215] en discutant les observations au grand zénith-télescope de Poulkovo de 1904 à 1941 a trouvé la valeur de  $20''.512$  pour la constante de

l'aberration. Ainsi, toutes les valeurs modernes indiquent l'augmentation de la constante de l'aberration.

B. NUMEROV [222] et M. SUBBOTIN [231] se sont occupés du programme et des méthodes de la détermination de la constante de l'aberration. N. DIVARI [194] et B. GIMMEL'FARB [201] ont étudié la constante de l'aberration en fonction de la classe spectrale des étoiles, tandis que S. LUK'JANOV [218] et G. IDLIS [209] ont étudié l'aberration du point de vue théorique.

La constante de la nutation a été calculée déjà par PETERS. Sa valeur égale à  $9''.22$  diffère seulement d'un centième de seconde d'arc de la valeur adoptée actuellement ( $9''.21$ ). K. KULIKOV [216] d'après les observations de 1904 à 1941 au grand zénith-télescope de Poulkovo a trouvé, en tenant compte des parallaxes des étoiles, la valeur de la nutation en accord avec la valeur adoptée actuellement.

N. IDELSON [207] seul et en collaboration avec H. POTTER [208] a déterminé la constante de la nutation d'après les observations à l'instrument des passages, installé dans le premier vertical à Poulkovo. Ils ont trouvé qu'on ne peut pas déterminer la constante de la nutation avec une précision satisfaisante à l'aide de cet instrument à cause du petit nombre d'étoiles qu'on peut observer.

E. FEDOROV [197], P. MATVEEV [219] et N. POPOV [228] ont cherché l'amplitude du terme bimensuel de la nutation d'après les observations à latitude. Ils ont trouvé pour l'amplitude de ce terme la valeur de  $0''.02$ .

Actuellement on a commencé à déterminer les constantes de la nutation [214] et de l'aberration d'après le projet de A. MIHAJLOV [220]. On détermine la position du pôle céleste sur les photographies obtenues avec l'astrographe immobile, comme le centre d'arcs de cercles concentriques décrites par les étoiles. L'expérience montre que les expositions de courte durée, mais équidistantes, donnent, pour les étoiles circumpolaires, des images rondes ou légèrement allongées. Les pointées de ces images se font avec certitude à l'aide de l'appareil de mesure. En utilisant l'objectif photographique de 15 cm d'ouverture, dont la distance focale est de 6 m, on peut obtenir les précisions suivantes: pour l'aberration  $0''.001$ , pour la nutation  $0''.0005$  et pour la précession  $0''.0025$ .

Les premières photographies du pôle avec la lunette immobile ont été faites par P. ŠTERNBERG à Moscou en 1904-1910. A l'Observatoire de Poulkovo fonctionne à partir de 1951 la lunette polaire de Mihajlov, dont le diamètre de l'objectif est de 20 cm et la distance focale est égale à 6 m.

Il faut mentionner le travail de M. ZVEREV [234] sur les constantes liées avec la Terre et, surtout, le mémoire de I. ŽONGOLOVIČ [235] qui a étudié le champ gravitationnel extérieur de la Terre, en utilisant les travaux gravimétriques. N. IDELSON [206] a publié, aussi, un mémoire très important sur les constantes fondamentales d'astronomie.

Étant donné que les observations astronomiques sont influencées par la

présence de l'atmosphère, l'étude de la réfraction et de sa constante a une très grande importance, surtout pour l'étude et la détermination des autres constantes astronomiques.

S. BLAŽKO [193] a étudié en 1944 la réfraction astronomique. N. DNEPROVSKIJ [195] et B. ORLOV [226] se sont occupés des tables de réfraction de Poulkovo et de leur comparaison avec les tables de Harzer. De plus, N. DNEPROVSKIJ [196] et V. FESENKOV [198, 199] ont étudié l'influence de la température sur la réfraction.

I. KOLČINSKIJ [210-212] a étudié l'influence de la couleur d'étoiles sur la valeur de la réfraction, tandis que V. KRAT [213] et L. SEMENOV [229] ont étudié les anomalies de la réfraction. B. NUMEROV [223, 224] a donné une théorie de la réfraction.

Ainsi, depuis 100 ans, les travaux russes sur les constantes fondamentales d'astronomie jouent un rôle très important parmi les autres travaux.

## 7. - Déplacement du pôle.

Le mouvement des pôles terrestres est lié avec les différents phénomènes, comme la vitesse de la rotation de la Terre, la structure intérieure de la Terre et la distribution et le mouvement des masses à la surface de la Terre et dans l'atmosphère.

Le mouvement des pôles change les coordonnées géographiques et, par conséquent, influe sur la détermination de l'heure. Comme la précision de la détermination des latitudes est plus grande que celle de l'heure et des longitudes, on étudie, ordinairement, le mouvement des pôles d'après les variations des latitudes.

En 1844 PETERS [19, 269] a trouvé les variations de latitude d'après les observations de l'étoile polaire au cercle vertical de Poulkovo. Trente ans après NJUREN, en utilisant les résultats de 13 années d'observations au cercle vertical a trouvé que la latitude de Poulkovo ne restait pas constante. A partir de 1890 on a utilisé à Poulkovo, pour l'étude de la variation de latitude, un instrument des passages installé dans le 1<sup>er</sup> vertical. Depuis 1904 on fait l'observation de latitude au zénith-télescope de G. Freiberg-Kondrat'ev.

Les résultats des observations de latitude effectuées avec des instruments différents ont été discutés et publiés par V. ABOLD [238], A. DROZD [242, 243], E. FEDOROV [253], N. POPOV [293, 295] et, de plus, par A. VASIL'EV [303, 304] et B. ZEMCOV [308].

On a fait beaucoup de travaux sur le mouvement du pôle en relation avec les résultats du Service International des Latitudes. Il faut mentionner, surtout, les travaux de A. ORLOV [279-289] qui était un spécialiste éminent de la

question du mouvement de l'axe terrestre en relation avec les variations de latitude. A. DROZD [245] et A. KOROL' [265] se sont occupés aussi de cette question.

B. ORLOV [291] a montré la possibilité de la détermination des fluctuations du pôle d'après l'observation des mires de Poulkovo. La même question a été étudiée par A. NEMIRO [273] et V. SAHAROV [297]. V. SAHAROV attire l'attention sur l'existence des variations annuelles de l'azimut des mires qui peuvent provenir des oscillations du sol et des fondations des collimateurs et des mires.

La question des variations de courte période de latitude a attiré beaucoup l'attention des astronomes soviétiques. Les variations journalières de latitude ont été étudiées par V. BERG [241] et A. VASIL'EV [302] qui ont discuté la célèbre série d'observations de W. STRUVE en 1840-1842. A. DROZD [244] d'après 29 729 observations au zénith-télescope de Poulkovo, E. FEDOROV et E. EVTUŠENKO [258] aux deux zénith-télescopes de Poltava ont étudié les variations journalières de latitude. Il faut mentionner encore les travaux de E. LAVRENT'EVA et N. POPOV [271], S. VOROŠILOVA [307], A. et N. VASIL'EV [302, 305], ainsi que ceux de E. FEDOROV [261] sur les variations journalières de latitude. Tous les travaux montrent l'existence de variations journalières de latitude.

Les chercheurs soviétiques ont étudié les variations de latitude des périodes plus longues. L'onde bimensuelle fut étudiée par E. EVTUŠENKO [250] et E. FEDOROV [254, 255], ainsi que par A. ORLOV [287]. A. VASIL'EV [301] a trouvé aussi une onde ayant la période mensuelle.

Étant donné que le programme d'observations du Service International des Latitudes ne donnait pas de satisfaction, on a étudié des nouveaux programmes d'observations [239, 255]. On a appliqué ces programmes à Poltava [261], à Poulkovo [263, 298, 299], ainsi qu'à l'Observatoire d'Engelhardt [267].

De plus, on a décidé de réorganiser le service de latitude en URSS pour suppléer le service international existant. Étant donné l'étendue très grande de l'URSS en longitude, V. ABOLD [240] a élaboré un projet du service soviétique de latitude indépendant. L'auteur envisage deux espèces des stations:

a) Stations principales permettant des observations absolues de latitude sur couples d'étoiles par retournement de la lunette et des déterminations azimutales.

b) Stations auxiliaires, permettant des observations relatives sans retournement avec instruments simplifiés, en même temps que des déterminations d'azimut. Il faudrait au moins une station principale et une station auxiliaire qui devraient être situées à  $90^\circ$  de longitude l'une de l'autre.

K. DUBROVSKIJ [249] propose dans ce but le service de latitude sur le parallèle  $56^\circ 15'$  qui traverse l'URSS.



A. ORLOV a proposé une méthode de calcul des coordonnées  $x$  et  $y$  du pôle instantané d'après une seule station, en faisant certaines hypothèses sur le mouvement annuel et Chandlerien du pôle. Cette méthode est utilisée avec succès actuellement en URSS pour calculer les coordonnées du pôle, sans attendre les résultats du service international.

En 1954 les astronomes de l'URSS [290] ont présenté un programme sur le but et le programme d'observations du Service International des Latitudes. Une partie de ce projet a été acceptée par l'Association Internationale de Géodésie.

De nombreuses études théoriques sur le mouvement des pôles ont été faites en URSS. Mentionnons seulement les travaux de E. FEDOROV [252, 259] et de N. PARIJSKIJ [292]. E. FEDOROV trouve que le mouvement de l'axe instantané de rotation de la Terre dans l'espace ne concorde pas avec la théorie. Il faut déterminer les propriétés mécaniques de la Terre avec le noyau visqueux et l'enveloppe élastique non uniforme. N. PARIJSKIJ a montré que la variation de la circulation de l'atmosphère peut exercer une influence sur le mouvement du pôle dans la même mesure que la redistribution des masses.

En plus des variations polaires de latitude, existent les fluctuations non polaires qui ont été étudiées par E. FEDOROV [256]. G. LANGE [270] et D. KRAVCOV [266] ont étudié les variations non polaires de latitude de la station de Kitab et ont trouvé que le terme «  $z$  » dépend non seulement du lieu d'observation, mais aussi de l'observateur.

## 8. — Bibliographie.

Dans la Bibliographie nous avons utilisé les abréviations données par M.me ANNA STOYKO dans son article *Travaux soviétiques sur le service de l'heure*, publié dans ce fascicule, pag. 323.

### Chapitre 1.

- [1] P. T. BAKULIN: *Catalogue d'étoiles fondamentales* (Moscou, 1949).
- [2] S. N. BLAŽKO: *Cours d'astronomie pratique* (Moscou, 1951).
- [3] N. V. CIMMERMAN: *Cercle méridien de l'Observatoire de Poulkovo*, dans le recueil *Sto let Pulk. Obs.*, 77 (1945).
- [4] N. JA. CINGER: *Cours d'astronomie pratique* (G.I.S. sans date).
- [5] K. A. CVETKOV: *Astronomie pratique* (Moscou, 1951).
- [6] N. I. DNEPROVSKIJ: *Problèmes actuels d'astrométrie*, dans l'*Astron. Žu. SSSR*, 11, 237 (1934).

- [7] N. I. DNEPROVSKIJ, V. V. KAVRAJSKIJ, N. N. PAVLOV, N. V. CIMMERMAN et P. I. JAŠNOV: *Introduction dans l'astronomie pratique* (ONTI, Léninegrad, 1936).
- [8] P. I. JAŠNOV: *Problèmes de l'astrométrie méridienne et les observations méridiennes en SSSR*, dans le recueil *Astron. v SSSR za 15 Let*, 17 (1932).
- [9] A. A. NEMIRO: *Déterminations absolues des ascensions droites des étoiles*, dans le recueil *Sto Let Pulk. Obs.*, 43 (1945).
- [10] A. A. NEMIRO: *Problèmes astrométriques à la 8<sup>ème</sup> Assemblée de l'Union Astronomique Internationale*, dans les *Trudy 10<sup>i</sup> Vses. Astrometr. Konf.* 1952, p. 95 (1954).
- [11] B. V. NUMEROV: *Problèmes actuels d'astrométrie*, dans l'*Astron. Žu. SSSR*, 13, 355 (1936).
- [12] B. A. ORLOV: *Déterminations absolues des déclinaisons au cercle vertical*, dans le recueil *Sto Let Pulk. Obs.*, 55 (1945).
- [13] A. POSTOEV: *Travaux de l'Observatoire Astronomique de Tachkent dans le domaine d'astrométrie méridienne*, dans les *Trudy Taš. Astron. Obs.*, 5, 53 (1935).
- [14] B. I. RAK: *Systèmes normaux des positions d'étoiles*, dans les *Trudy Astron. Obs. Petrogr. Univ.*, 1, 1, (1917).
- [15] K. N. SMIRNOV: *Construction et détails des instruments astro-géodésiques* (Moscou, 1937).
- [16] M. S. ZVEREV: *Astrométrie fondamentale en SSSR pendant 20 ans*, dans l'*Astron. Žu. SSSR*, 14, 394 (1937).
- [17] M. S. ZVEREV: *Astronomie fondamentale*, dans le recueil *Astron. v SSSR za 30 Let*, 15 (1948).
- [18] M. S. ZVEREV: *Astrométrie fondamentale*, dans les *Usp. Astron. Nauk*, 5, 3 (1950); 6, 3 (1951).
- [19] M. S. ZVEREV et A. A. NEMIRO: *Travaux astrométriques de l'Observatoire de Pulkovo*, dans le recueil *Glavnaja Astron. Obs. Akad. Nauk SSSR v Pulk.*, 39 (1953).
- [20] *Rapports de la Commission Astrométrique et des sous-commissions, ainsi que les informations des instituts sur les travaux astrométriques*, dans les *Trudy 10<sup>i</sup> Vses. Astrometr. Konf.* 1952, p. 9 (1954).

## Chapitre 2.

- [21] L. D. AGAFONOVA: *Mouvements propres en déclinaison de 186 étoiles*, dans le *Bjull. Astron. Obs. Eng.*, n. 9, 11 (1936).
- [22] N. M. ARTJUHINA: *Mouvements propres de 152 étoiles dans la région du pôle nord galactique*, dans le *Soobšč. Gosud. Astron. Inst. im. Štern.*, n. 81, 3 (1952).
- [23] N. M. ARTJUHINA: *Détermination et étude des mouvements propres d'étoiles dans la région du pôle galactique*, dans l'*Astron. Žu. SSSR*, 30, 625 (1953).
- [24] JA. I. BELJAEV: *Catalogue of right ascensions of 201 stars for the epoch 1925.0 from observations with Bamberg's transit instrument*, dans les *Izv. Glav. Astron. Obs. v Pulk.*, 10, n. 98, 483 (1927).
- [25] JA. I. BELJAEV: *Catalogue of 223 zodiacal stars for the epoch 1925.0 from observations with Repsold's meridian circle*, dans les *Izv. Glav. Astron. Obs. v Pulk.*, 11, n. 103, 223 (1929).
- [26] V. P. BERG: *Correction  $\Delta\alpha$  des systèmes fondamentaux GC et FK3 d'après les séries des observations des latitudes de Poulkovo, de Greenwich et du service international*, dans le recueil *Cirk. Glav. Astron. Obs. v Pulk.*, n. 31, 29 (1941).

- [27] G. K. CIMMERMAN: *Résultats d'observations de 1929 à 1939 au cercle vertical de l'Observatoire de Nikolaev*, dans les *Trudy Glav. Astron. Obs. v Pulk.*, **68**, 1 (1951).
- [28] N. V. CIMMERMAN: *Katalog der Deklinationen der Sterne, die in die Programme des Pulkowoer Zenith-Telescop eingehen*, dans les *Trudy Glav. Astron. Obs. v Pulk.* **46**, 1 (1934).
- [29] N. V. CIMMERMAN: *Catalogue de 2957 étoiles brillantes de déclinaison de  $-10^{\circ}$  à  $+90^{\circ}$* , dans le *Trudy Glav. Astron. Obs. v. Pulk.*, **61**, 1 (1948).
- [30] L. F. ČERNIEV: *Catalogue des déclinaisons de 125 étoiles circumpolaires pour l'époque et l'équinoxe 1950.0*, dans les *Izv. Astron. Obs. v Odessa*, **3**, 123 (1953).
- [31] M. DIČENKO: *Catalogue de 640 étoiles zodiacales*, dans les *Ann. Obs. Kiev*, **6**, 1 (1933).
- [32] I. A. DJUKOV: *Déclinaisons absolues de 119 étoiles dans le système d'Auwers pour l'équinoxe 1915.0*, dans les *Izv. Astron. Obs. Eng.*, n. 16-17, 3 (1933).
- [33] I. A. DJUKOV: *Déclinaisons absolues de 192 étoiles*, dans les *Izv. Astron. Obs. Eng.*, n. 22, 3 (1940).
- [34] I. A. DJUKOV: *Système nouveau des étoiles fondamentales d'Eichelberger*, dans les *Publ. Astron. Obs. Eng.*, n. 12, 41 (1927).
- [35] I. A. DJUKOV: *Déclinaison de 207 étoiles dans la zone de  $+26^{\circ}$  à  $+73^{\circ}$  pour l'équinoxe 1930.0*, dans les *Izv. Astron. Obs. Eng.*, n. 18, 3 (1935).
- [36] I. A. DJUKOV: *Comparaison des méthodes de la détermination absolue des déclinaisons au cercle méridien en liaison avec le programme des travaux du cercle méridien de l'observatoire d'Engelhardt*, dans les *Trudy Astrometr. Konf.*, 1932, p. 89 (1933).
- [37] I. A. DJUKOV: *Mittlere Örter von 125 Zirkumpolarsternen*, dans *Astron. Nachr.*, **219**, 285 (1923).
- [38] I. A. DJUKOV et L. D. AGAFONOVA: *Déclinaisons relatives de 1333 étoiles*, dans les *Trudy Astron. Obs. Kaz. Gosud. Univ.* **30**, 1 (1943).
- [39] I. A. DJUKOV: *Positions moyennes et les mouvements propres de 40 étoiles*, dans les *Publ. Astron. Obs. Eng.*, n. 11, 38 (1935).
- [40] A. D. DROZD: *Das Deklinationssystem und die Eigenbewegungen der Sternpaare, die am Pulkowoer Zenitteleskop beobachtet worden sind*, dans les *Izv. Glav. Astron. Obs. v Pulk.*, **14**, n. 120, 8 (1935).
- [41] N. I. DNEPROVSKIJ: *Catalogue fondamental des déclinaisons de 1331 étoiles pour 1915.0* (Léningrad, 1934).
- [42] N. I. DNEPROVSKIJ: *Fundamental declination of 1334 stars from observations by N. Dneprovskij and L. Matkiewicz with Ertel's vertical circle in 1919-1924*, dans les *Trudy Glav. Astron. Obs. v Pulk.*, **35**, 1 (1929).
- [43] N. I. DNEPROVSKIJ: *Fundamental declination of 553 stars from observations with Ertel's vertical circle in 1929-1932*, dans les *Trudy Glav. Astron. Obs. v Pulk.*, **44**, 3 (1934).
- [44] N. I. DNEPROVSKIJ: *Results of supplementary observations with Ertel's vertical circle in 1919-1927*, dans les *Trudy Glav. Astron. Obs. v Pulk.*, **35**, 79 (1929).
- [45] N. I. DNEPROVSKIJ: *Über das Deklinationssystem des Repsold'schen Vertikalkreises*, dans les *Izv. Glav. Astron. Obs. v Pulk.*, **10**, n. 94, 47 (1924).
- [46] N. I. DNEPROVSKIJ: *Vergleichungen des Pulkowoer Fundamentalkatalogs und des Odessaer Katalogs der Deklinationen 1900.0 mit NFK*, dans le *Bjull. Inst. Teor. Astron.*, n. 14, 160 (1926).
- [47] N. I. DNEPROVSKIJ: *Vergleichung des Pulkowoer Katalogs der absoluten Deklinationen 1915.0 mit dem Auwers'schen Neuen Fundamentalkatalog*, dans les *Bjull. Inst. Teor. Astron.*, n. 7, 45 (1925).

- [48] E. P. FEDOROV: *Sur la détermination des mouvements propres d'après les observations de latitude*, dans le recueil *Astron. Cirk. Akad. Nauk SSSR*, n. 143, 16 (1953).
- [49] I. A. GULJAEV et V. KOZŽEV: *Étude de deux catalogues de zones de l'Observatoire astronomique de Yale*, dans l'*Astron. Žu. SSSR*, **30**, 348 (1953).
- [50] N. I. IDELSON et B. I. RACK: *Eigenbewegungen von 185 Sterne in Deklination*, dans les *Trudy Glav. Astron. Obs. v Pulk.*, **46**, 59 (1934).
- [51] P. I. JAŠNOV: *Ascensions droites absolues des étoiles fondamentales pour le catalogue 1915.0* dans les *Izv. Glav. Astron. Obs. v Pulk.*, **10**, n. 94, 168 (1924).
- [52] P. I. JAŠNOV: *Die absoluten Rektaszensionen der Pulkowoer Fundamentalsterne*, dans *Astron. Nachr.*, **217**, 301 (1922).
- [53] P. I. JAŠNOV et N. V. CIMMERMAN: *Bearbeitung der in den Jahren 1914-1924 am Freibergschen Passageinstrument in Nikolajew von P. I. Jaschnoff und N. W. Zimmermann angestellten Beobachtungen*, dans les *Trudy Glav. Astron. Obs. v Pulk.*, **49**, 1 (1936).
- [54] V. V. KONIN: *Catalogue des déclinaisons de 319 étoiles pour l'équinoxe 1950.0 d'après les observations au cercle méridien d'Odessa en 1947-1950*, dans les *Izv. Astr. Obs. v Odesse*, **3**, 61 (1953).
- [55] B. KUDRJAVEV: *Détermination des déclinaisons moyennes absolues de 1904 étoiles observées à Nikolajev à la succursale de l'Observatoire de Poulkovo et réduites à l'époque 1915.0*, dans les *Trudy Glav. Astron. Obs. v Pulk.*, **57**, 1 (1940).
- [56] D. K. KULIKOV: *Théorie des éphémérides des paires de Cinger et catalogue de 500 paires d'étoiles dans le système de FK3 pour époques 1950.0 et 1970.0* (Léninegrad, 1951).
- [57] P. LOGINOV: *The determination of proper motions from the declinations of 33 stars culminating at Poulkovo near zenith*, dans le recueil *Cirk. Glav. Astron. Obs. v Pulk.*, n. 7, 29 (1933).
- [58] A. M. LOZINSKIJ: *Mouvements propres de neuf étoiles variables*, dans les *Soobšč. Gosud. Astron. Inst. im. Štern.*, n. 81, 20 (1952).
- [59] B. MODESTOV: *Observations au cercle méridien de l'Observatoire astronomique de Moscou faites de 1893 à 1901*, dans les *Ann. Obs. Astron. Moscou*, **7**, 1 (1917-1925).
- [60] B. MODESTOV: *Sur les observations de trois étoiles dans le premier vertical à Poulkovo*, dans les *Izv. Glav. Astron. Obs. v Pulk.*, **12**, n. 109, 1 (1931).
- [61] M. MORIN: *Katalog von 3396 Sternen zwischen 39° und 46° nördlicher Deklination für des Aequinotium 1910.0 aus Beobachtungen am Pulkowoer Meridiankreise von A. Kondratjeff und M. Morin*, dans les *Trudy Glav. Astron. Obs. v Pulk.*, **41**, 1 (1933).
- [62] A. A. NEMIRO: *Comparaison d'ascensions droites du catalogue de 2957 étoiles brillantes de déclinaison de  $-10^{\circ}$  à  $+90^{\circ}$  avec le système FK3*, dans les *Izv. Glav. Astron. Obs. v Pulk.*, **17**, n. 140, 125 (1947).
- [63] A. A. NEMIRO: *Ascensions droites de 423 étoiles d'après les observations à l'Observatoire de Poulkovo de 1936 à 1941*, dans les *Trudy Glav. Astron. Obs. v Pulk.*, **63**, 127 (1949).
- [64] B. V. NUMEROV: *Construction de catalogue fondamental d'ascensions droites*, dans les *Dokl. Akad. Nauk SSSR*, **3**, 209 (1936).
- [65] F. F. RENZ: *Sur le catalogue fondamental d'ascensions droites*, dans les *Trudy Astrometr. Konf. 1932*, p. 132 (1933).
- [66] F. F. RENZ: *Fundamentalkatalog von 1642 Haupt und 127 Zusatzsternen für die Epoche 1925.0*, dans les *Trudy Glav. Astron. Obs. v Pulk.*, **44**, 1 (1935).



- [67] F. F. RENZ: *Katalog der Rektaszensionen von 1426 Sternen für die Epoche und das Aequinoxtium 1915.0 aus Beobachtungen, welche in den Jahren 1911-1918 am Ertel'schen Passageinstrument der Pulkwoer Sternwarte von P. Jaschnoff, L. Matkiewicz, F. Renz und L. Semenoff angestellt worden sind*, dans les *Izv. Glav. Astron. Obs. v Pulk.*, **9**, n. 91, 187 (1924).
- [68] F. F. RENZ: *Mittlere Rektaszensionen von 205 Sternen für die Epoche 1915.0 aus Ertel'schen Passageinstrument von L. Matkiewicz und L. Semenoff angestellten Beobachtungen abgeleitet*, dans les *Izv. Glav. Astron. Obs. v Pulk.*, **10**, n. 97, 401 (1926).
- [69] F. F. RENZ: *Rektaszensionen von 66 Sternen für die Epoche 1930.0 bestimmt am grossen Passageinstrument der Pulkwoer Sternwarte*, dans les *Izv. Glav. Astron. Obs. v Pulk.*, **12**, n. 106, 13 (1930).
- [70] F. F. RENZ: *Rektaszensionen von 1334 Sternen 2-ter bis 6-ter Grösse nebst 316 Anhaltsternen für die Epoche 1925.0 aus von L. Matkiewicz, F. Renz und L. Semenoff am grossen Ertel'schen Passageinstrument in den Jahren 1920-1926 ausgestellten Beobachtungen*, dans les *Trudy Glav. Astron. Obs. v Pulk.*, **39**, 1 (1932).
- [71] F. F. RENZ und L. MATKIEWICZ: *Rektaszensionen von 558 Sternen für die Epoche 1930.0 aus am grossen Passageinstrument angestellten Beobachtungen von F. Renz und L. Matkiewicz*, dans les *Trudy Glav. Astron. Obs. v Pulk.*, **53**, 1 (1938).
- [72] F. F. RENZ, P. I. JASCHNOFF, L. L. MATKIEWICZ et N. I. IDELSON: *Bearbeitung in den Jahren 1911-1918 am Ertel'schen Passageinstrument von P. Jaschnoff, L. Matkiewicz, F. Renz und L. Semenoff angestellten Beobachtungen*, dans les *Trudy Glav. Astron. Obs. v Pulk.*, **33**, 1 (1927).
- [73] T. B. SABANINA: *Ascensions droites et mouvements propres  $\mu_\alpha$  des étoiles horaires de Poulkovo*, dans les *Izv. Glav. Astron. Obs. v Pulk.*, **18**, n. 143, 66 (1950).
- [74] V. SERAFIMOV: *A catalogue of 8820 stars between 15° South and 15° North declination from observations of M. Morin and A. Condratieff made with the Poulkovo Meridian circle*, dans les *Trudy Glav. Astron. Obs. v Pulk.*, **56**, 1 (1940).
- [75] M. I. URANOVA: *Sur les mouvements propres des étoiles dans la région de  $\gamma$  Cygne*, dans les *Soobšč. Gosud. Astron. Inst. im. Štern.*, n. 81, 27 (1952).

### Chapitre 3.

- [76] S. N. BLAŽKO: *Méthodes de Cinger et de Pevcov du point de vue géométrique*, dans l'*Astron. Žu. SSSR*, **23**, 161 (1946).
- [77] V. BRANDT: *Détermination simultanée de latitude du lieu et de correction de pendule d'après les observations de trois étoiles aux hauteurs égales*, dans les *Trudy Tom. Gosud. Univ.*, **91**, 23 (1939).
- [78] I. A. DJUKOV: *A propos des erreurs systématiques des déclinaisons d'étoiles*, dans le recueil *Učen. Zap. Kaz. Gosud. Univ.*, **100**, n. 4, 132 (1940).
- [79] M. F. BYKOV: *Détermination des erreurs systématiques pendant l'observation du catalogue absolu des ascensions droites*, dans les *Trudy Taš. Astron. Obs.*, Ser. II, **4**, 53 (1954).
- [80] G. K. CIMMERMAN: *Méthode simplifiée de calcul des observations relatives des déclinaisons*, dans le recueil *Učen. Zap. Kaz. Gosud. Univ.*, **100**, n. 4, 141 (1940).

- [81] N. I. DNEPROVSKIJ: *Die absoluten Deklinationen des Ergänzungskatalogs zu dem Fundamentalkatalog 1915.0 nebst Untersuchungen der lokalen Refraktion nach den Beobachtungen am grossen Pulkowoe Vertikalkreise*, dans les *Izv. Glav. Astron. Obs. v Pulk.* **9**, n. 93, 393 (1924).
- [82] N. I. DNEPROVSKIJ: *Bemerkungen über die Ausführung der absoluten Deklinationsbeobachtungen auf des Südhalbkugel*, dans l'*Astron. Nachr.*, **241**, 219 (1931).
- [83] N. I. DNEPROVSKIJ: *On the methods for the improvement of the fundamental declinations of stars*, dans les *Izv. Glav. Astron. Obs. v Pulk.*, **13**, n. 112, 1 (1932).
- [84] N. I. DNEPROVSKIJ: *Sur la méthode de la détermination des déclinaisons d'après l'observation avec un même cercle vertical dans deux hémisphères*, dans les *Trudy Astrometr. Konf. 1932*, p. 109 (1933).
- [85] N. I. DNEPROVSKIJ: *Zur Frage der Bestimmung der Deklinationsfehler aus Sonnenbeobachtungen*, dans l'*Astron. Nachr.*, **253**, 1 (1934).
- [86] S. V. DROZDOV: *Détermination des déclinaisons d'étoiles faibles zénithales au zénith-télescope*, dans les *Trudy Polt. Grav. Obs.*, **3**, 121 (1950).
- [87] S. V. DROZDOV et M. S. ZVEREV: *Sur la détermination des déclinaisons des étoiles d'après les observations aux zénith-télescopes*, dans l'*Astron. Žu. SSSR*, **27**, 48 (1950).
- [88] Š. S. FEDČUN: *Sur la simplification de la réduction des observations d'après la méthode de Pevcov lors de la détermination des variations de latitude*, dans le recueil *Astron. Cirk. Akad. Nauk SSSR*, n. 144, 9 (1953).
- [89] P. I. JAŠNOV: *Déterminations absolues d'ascensions droites. Méthode de l'école fondamentale d'astrométrie de Poulkovo*, partie 1 (Léninegrad, 1932).
- [90] K. A. KULIKOV: *Détermination de la latitude et de l'heure au zénith-tube à réflexion*, dans l'*Astron. Žu. SSSR*, **18**, 350 (1941).
- [91] P. P. LOGINOV: *Sur la question de la réduction des observations méridiennes*, dans les *Trudy Taš. Astron. Obs.*, Série 2, **3**, 52 (1953).
- [92] P. P. LOGINOV: *Sur le lissage intérieur du système des déclinaisons des paires d'étoiles d'après les observations avec zénith-télescope*, dans les *Trudy Taš. Astron. Obs.*, Série 2, **3**, 123 (1953).
- [93] A. I. NEFED'EVA: *Étude de la variation du point de nadir du cercle méridien de l'Observatoire Astronomique d'Engelhardt*, dans le recueil *Učen. Zap. Kaz. Gosud. Univ.*, **110**, n. 8, 55 (1950).
- [94] A. A. NEMIRO: *Sur la détermination de l'azimut absolu et de l'inclinaison de l'instrument des passages*, dans *Izv. Glav. Astr. Obs. v Pulk.*, **18**, n. 143, 43 (1950).
- [95] B. V. NUMEROV: *A propos de la détermination des erreurs systématiques des déclinaisons des étoiles fondamentales*, dans le *Bjull. Inst. Teor. Astron.*, n. 32, 139 (1933).
- [96] B. V. NUMEROV: *A propos de la détermination des erreurs systématiques des positions d'étoiles*, dans l'*Astron. Žu. SSSR*, **12**, 339 (1935).
- [97] M. F. SUBBOTIN: *Sur l'interpolation des grandeurs données dans les annuaires astronomiques*, dans le recueil *Astron. Cirk. Akad. Nauk SSSR*, n. 136, 8 (1953).
- [98] V. ŠAPOŠNIKOV: *Sur la détermination absolue des déclinaisons et de la réfraction*, dans les *Trudy Astrometr. Konf. 1932*, 96 (1933).
- [99] V. ŠAPOŠNIKOV: *Sur la formation d'un système normal des déclinaisons d'après la symétrie zénithale des systèmes d'observation*, dans l'*Astron. Žu. SSSR*, **16**, 62 (1939).
- [100] V. ŠAPOŠNIKOV: *Sur une méthode possible de la détermination absolue des déclinaisons*, dans l'*Astron. Žu. SSSR*, **18**, 51 (1941).

- [101] L. M. VAŠČILINA: *Étude de la série d'observations à l'instrument des passages au premier vertical faites par W. Struve à Poulkovo (1840-1842)*, dans les *Izv. Glav. Astron. Obs. v Pulk.*, **18**, n. 143, 71 (1950).
- [102] M. S. ZVEREV: *Sur la réduction des coordonnées géographiques et des azimuts à un même système des positions fondamentales d'étoiles*, dans les *Trudy Centr. Naučno-Issled. Inst. Geod. Aér. i Kart.*, n. 43, 17 (1949).
- [103] M. S. ZVEREV: *Sur le calcul de l'influence des termes à courte période de la nutation*, dans les *Soobšč. Gosud. Astron. Inst. im. Štern.*, n. 29, 14 (1949).
- [104] M. S. ZVEREV: *Variations annuelles de la formule de Mayer*, dans les *Soobšč. Gosud. Astron. Inst. im. Štern.*, n. 29, 20 (1949).
- [105] M. S. ZVEREV: *Tables des variations annuelles des nombres de Bessel  $a, b, c, d, a', b', c', d'$* , dans les *Soobšč. Gosud. Astron. Inst. im. Štern.*, n. 29, 24 (1949).

#### Chapitre 4.

- [106] L. D. AGAFONOVA: *Étude des divisions du cercle méridien de l'Observatoire Astronomique d'Engelhardt*, dans le *Bjull. Astron. Obs. Eng.*, n. 23, 41 (1943).
- [107] L. D. AGAFONOVA: *Étude des erreurs des divisions du cercle méridien de Repsold*, dans le *Bjull. Astron. Obs. Eng.*, n. 24, 9 (1946).
- [108] L. D. AGAFONOVA et A. I. NEFED'eva: *Cercle méridien de l'Observatoire Astronomique d'Engelhardt pendant la période 1903-1951*, dans les *Izv. Astron. Obs. Eng.*, n. 27, 39 (1951).
- [109] ASTRONOMIČESKIJ INSTITUT: *Détermination des erreurs individuelles des divisions d'un cercle*, dans le *Bjull. Inst. Teor. Astron.*, n. 38, 26 (1936).
- [110] P. I. BAKULIN et M. S. ZVEREV: *Étude des erreurs des divisions du cercle méridien de l'Observatoire de Moscou*, dans le recueil *Učen. Zap. Kaz. Gosud. Univ.*, **100**, n. 4, 151 (1940).
- [111] JA. I. BELJAËV: *On the systematic difference of azimuth obtained from different culminations of polar stars with Bemberg's transit instrument*, dans les *Izv. Glav. Astron. Obs. v Pulk.* **11**, n. 100, 5 (1927).
- [112] I. V. BELKOVIČ: *Sur une erreur instrumentale du zénith-télescope*, dans le *Bjull. Astron. Obs. Eng.*, n. 19, 3 (1940).
- [113] V. R. BERG: *Grand zénith-télescope de Poulkovo*, dans le recueil *Sto Let Pulk. Obs.*, p. 89 (1945).
- [114] G. K. CIMMERMAN: *Généralisation de la méthode de Bonsdorff pour la détermination des corrections provenant des erreurs des limbes*, dans les *Trudy Polt. Grav. Obs.*, **2**, 74 (1948).
- [115] G. K. CIMMERMAN: *Détermination de latitude, de constante de la réfraction et de flexion d'après les observations d'étoiles et du soleil*, dans les *Izv. Glav. Astron. Obs. v Pulk.*, **18**, n. 143, 29 (1950).
- [116] G. K. CIMMERMAN: *Sur les causes de discordance entre les cercles verticaux de Repsold et d'Ertel à Pulkovo*, dans l'*Astron. Žu. SSSR*, **31**, 457 (1954).
- [117] I. A. DJUKOV: *Déformation des piliers du cercle méridien de l'Observatoire Astronomique d'Engelhardt*, dans le *Bjull. Astron. Obs. Eng.*, n. 9, 18 (1936).
- [118] I. A. DJUKOV: *De l'influence de la flexion du cercle méridien et du zénith-télescope sur les résultats d'après la méthode Sanders-Raymond*, dans l'*Astron. Žu. SSSR*, **19**, 107 (1942).
- [119] I. A. DJUKOV: *Nouveau type du cercle méridien*, dans l'*Astron. Žu. SSSR*, **25**, 133 (1948).

- [120] N. I. DNEPROVSKIJ: *Zur Frage des thermischen Biegung in Fernrohren*, dans le journal *Astron. Nachr.*, **253**, 3 (1934).
- [121] V. A. ELISTRATOV: *A propos d'une méthode nouvelle de la détermination de fléxion des instruments astrométriques*, dans l'*Astron. Žu. SSSR*, **17**, 55 (1940).
- [122] V. A. ELISTRATOV: *Étude préliminaire des limbes du cercle méridien de l'Observatoire Central Astronomique*, dans le recueil *Cirk. Glav. Astron. Obs. v Pulk.*, n. 31, 16 (1941).
- [123] V. A. ELISTRATOV: *Sur la variation  $\Delta\delta_0$  du cercle méridien de l'Observatoire Central Astronomique*, dans les *Izv. Glav. Astron. Obs. v Pulk.*, **19**, n. 148, 6 (1952).
- [124] V. A. ELISTRATOV: *A propos de l'étude des cercles par la méthode des rosettes*, dans les *Izv. Glav. Astron. Obs. v Pulk.*, **19**, n. 150, 18 (1953).
- [125] V. A. ELISTRATOV: et JA. E. GORDON: *Étude des erreurs du cercle méridien de Poulkovo*, dans les *Izv. Glav. Astron. Obs. v Pulk.*, **19**, n. 150, 31 (1953).
- [126] E. P. FEDOROV: *Sur les causes de la variation d'inclinaison et de l'azimut des instruments méridiens*, dans les *Trudy Polt. Grav. Obs.*, **3**, 126 (1950).
- [127] E. P. FEDOROV: *Étude du micromètre du cercle vertical de Wanschaff*, dans les *Trudy Polt. Grav. Obs.*, **4**, 347 (1951).
- [128] FREIBERG-KONDRAT'EV: *Construction des instruments des passages et des cercles méridiens*, dans les *Trudy Polt. Grav. Obs.*, **3**, 149 (1950).
- [129] M. GRAČEV: *Étude des divisions du cercle méridien de Repsold*, dans les *Publ. Obs. Astron. Eng.*, n. 10, 1 (1919).
- [130] A. A. IL'INIČ: *Nouveau projet de l'instrument pour la détermination absolue des déclinaisons*, dans le recueil *Cirk. Glav. Astron. Obs. v Pulk.*, n. 26-27, 82 (1939).
- [131] A. A. IL'INIČ: *Sur l'étude des tourillons des instruments géodésiques, destinés à la détermination de l'azimut*, dans *Geod.*, **16**, n. 8, 65 (1940).
- [132] A. JAKOVKIN: *Sur les erreurs des divisions du cercle vertical en relation avec la fléxion du tube*, dans le recueil *Vestnik Vserossijskogo Astronomičeskogo Sojuza* [Communications de l'Union astronomique de toute la Russie], **3**, 35 (1923).
- [133] P. I. JAŠNOV: *De l'influence de la fléxion longitudinale du tube sur les distances zénithales aux cercles verticaux*, dans le recueil *Vest. Vseross. Astron. Sojuza*, **2**, 42 (1919).
- [134] P. I. JAŠNOV: *Sur la modernisation du cercle méridien de Repsold à Tachkent*, dans les *Trudy Astrometr. Konf. 1932*, p. 91 (1933).
- [135] V. P. LINNIK: *Instrument interférentiel des passages*, dans les *Dokl. Akad. Nauk SSSR*, **53**, 201 (1946).
- [136] A. I. NEFED'EVA et L. D. AGAFONOVA: *Étude de la fléxion horizontale du cercle méridien de l'Observatoire Astronomique d'Engelhardt*, dans l'*Astron. Žu. SSSR*, **28**, 112 (1951).
- [137] B. V. NUMEROV: *Théorie de l'altazimut*, dans le recueil *Astron. Ežegodnic* [Annuaire astronomique] 1922, p. 239.
- [138] B. V. NUMEROV: *Étude des tourillons de l'instrument de passages*, dans les *Trudy Astron. Obs. Petrogr. Univ.*, **4**, 6 (1923).
- [139] B. V. NUMEROV: *Cercle méridien photographique*, dans les *Dokl. Akad. Nauk SSSR*, **3**, 201 (1935).
- [140] B. V. NUMEROV: *A powerful photographic meridian circle*, dans le *J. des Obs.*, **22**, 1 (1939).
- [141] V. V. NUMEROVA: *A propos de la détermination des erreurs des divisions du cercle*, dans le *Bjull. Inst. Teor. Astron.*, n. 38, 33 (1936).
- [142] B. A. ORLOV: *De l'influence de fléxion sur la détermination d'un système absolu des déclinaisons*, dans les *Izv. Glav. Astron. Obs. v Pulk.*, **19**, n. 150, 56 (1953).



- [143] N. N. PAVLOV: *Sur la différence des systèmes des déclinaisons d'étoiles déterminés aux cercles d'Ertel et de Repsold*, dans l'*Astron. Žu. SSSR*, **30**, 210 (1953).
- [144] D. V. PJASKOVSKIJ: *Étude des erreurs des divisions du cercle méridien de l'Observatoire Astronomique de Kiev*, dans les *Publ. Kiev. Astr. Obs.*, n. 4, 123 (1950).
- [145] V. V. PODOBED: *Sur l'étude des erreurs progressives du micromètre*, dans l'*Astron. Žu. SSSR*, **28**, 54 (1951).
- [146] V. V. PODOBED: *Détermination des corrections de l'inclinaison et de l'azimut de l'axe horizontal en fonction de l'inégalité des tourillons*, dans les *Soobšč. Gosud. Astron. Inst. im. Štern.*, n. 94, 3 (1953).
- [147] N. A. POPOV: *Zénith-télescope de Zeiss*, dans les *Trudy Polt. Širot. Konf. 1939*, p. 28 (1941).
- [148] N. A. POPOV: *De l'influence de la température sur la distance focale et la valeur du tour de vis micrométrique*, dans l'*Astron. Žu. SSSR*, **31**, 178 (1954).
- [149] N. A. POPOV et N. D. SKRIPKA: *Sur la détermination des installations fixes de zénith-télescope*, dans les *Trudy Polt. Širot. Konf. 1939*, p. 32 (1941).
- [150] F. F. RENZ: *Über die Anwendung des Reversionsprismas bei den Beobachtungen von Sterndurchgängen*, dans le recueil *Cirk. Glav. Astron. Obs. v Pulk.*, n. 20, 17 (1936).
- [151] V. I. SAHAROV: *Étude des erreurs périodiques et progressives du vis micrométrique du grand zénith-télescope de Poulkovo*, dans les *Izv. Glav. Astron. Obs. v Pulk.*, **17**, n. 140, 140 (1947).
- [152] L. A. SUHAREV: *A propos des avantages principaux et constructifs de l'instrument méridien horizontal*, dans l'*Astron. Žu. SSSR*, **25**, 59 (1948).
- [153] L. A. SUHAREV: *Quelques phénomènes thermiques et élastiques dans les instruments astrométriques*, dans *Izv. Glav. Astron. Obs. v Pulk.*, **18**, n. 143, 14 (1950).
- [154] L. A. SUHAREV: *A propos des instruments méridiens*, dans les *Usp. Astron. Nauk*, **6**, 165 (1954).
- [155] V. P. ŠČEGLOV: *Étude des erreurs des divisions du cercle méridien de Tachkent*, dans le *Bjull. Taš. Astron. Obs.*, **2**, n. 6, 285 (1941).

## Chapitre 5.

- [156] L. D. AGAFONOVA: *Déterminations relatives des déclinaisons de 537 étoiles du catalogue fondamental des étoiles faibles au cercle méridien de l'Observatoire Astronomique d'Engelhardt*, dans le *Bjull. Astron. Obs. Eng.*, n. 26, 1 (1948).
- [157] L. D. AGAFONOVA et A. I. NEFED'EVA: *Déclinaisons absolues de 536 étoiles fondamentales du catalogue des étoiles faibles*, dans le recueil *Učen. Zap. Kaz. Gosud. Univ.*, **113**, n. 6, 1 (1953).
- [158] ASTRONOMIČESKIJ INSTITUT: *Orientation du système et détermination des erreurs systématiques du catalogue fondamental d'après l'observation des petites planètes*, dans le *Bjull. Inst. Teor. Astron.*, n. 42, 75 (1937).
- [159] A. N. DEJČ (DEUTSCH): *Utilisation des objets extragalactiques pour l'établissement d'un système absolu des mouvements propres des étoiles* (Edition Akad. Nauk SSSR, 1952).
- [160] A. N. DEJČ, V. V. LAVDOVSKIJ, N. V. FATČIHIN et N. V. GAMALEJ: *Des aires choisies avec les nébuleuses extragalactiques pour le rattachement des mouvements propres des étoiles*, dans *Izv. Glav. Astron. Obs. v Pulk.*, **19**, n. 150, 12 (1953).

- [161] I. A. DJUKOV: *Programme pour la comparaison du catalogue d'étoiles faibles avec le système FK3*, dans le recueil *Učen. Zap. Kaz. Gosud. Univ.*, **100**, n. 4, 50 (1940).
- [162] I. A. DJUKOV: *A propos de l'organisation du service soviétique de latitude en relation avec les travaux du catalogue fondamental des étoiles faibles*, dans les *Trudy Polt. Širot. Konf.* 1939, p. 11 (1941).
- [163] N. I. DNEPROVSKIJ et B. GERASIMVIČ: *Stellar astronomy and fundamental systems of star positions*, dans le recueil *Oirk. Glav. Astron. Obs. v Pulk.*, n. 3, 3 (1932).
- [164] N. V. FATČIHIN: *Détermination des mouvements propres absolus d'après les nébuleuses extragalactiques*, dans les *Dokl. Akad. Nauk SSSR*, **71**, 253 (1950).
- [165] N. V. FATČIHIN: *Détermination des mouvements propres absolus des étoiles d'après les nébuleuses extragalactiques*, dans les *Izv. Glav. Astron. Obs. v Pulk.*, **19**, n. 148, 11 (1952).
- [166] N. V. FATČIHIN: *Sur la précision de la détermination des mouvements propres absolus d'étoiles, d'après les nébuleuses extragalactiques*, dans les *Trudy 10<sup>i</sup> Vses. Astrometr. Konf.* 1952, p. 70 (1954).
- [167] K. N. JAHONTOV: *Comparaison de la précision des mesures des nébuleuses extragalactiques et des étoiles sur les photographies de l'astrographe de 15" de l'Observatoire de Moscou*, dans les *Soobšč. Gosud. Astron. Inst. im. Štern.*, n. 94, 27 (1953).
- [168] P. I. JAŠNOV: *Über die Ableitung eines in sich ausgeglichenen Systems der Rektaszensionen der schwächeren Sterne auf Grund kettenförmigen Beobachtungen*, dans le recueil *Oirk. Glav. Astron. Obs. v Pulk.*, n. 3, 13 (1932).
- [169] P. I. JAŠNOV: *Sur l'application de la méthode des chaînes pour la détermination d'un système régularisé d'ascensions droites des étoiles faibles fondamentales*, dans les *Trudy Astrometr. Konf.* 1932, p. 151 (1933).
- [170] P. G. KULIKOVSKIJ: *Catalogue préliminaire des nébuleuses extragalactiques pour le rattachement au catalogue d'étoiles faibles*, dans le recueil *Učen. Zap. Kaz. Gosud. Univ.*, **100**, n. 4, 78 (1940).
- [171] P. G. KULIKOVSKIJ: *Résultats des travaux faits à l'Observatoire de Moscou pour la photographie des nébuleuses extragalactiques et pour la mesure des plaques*, dans le recueil *Učen. Zap. Kaz. Gosud. Univ.*, **100**, n. 4, 81 (1940).
- [172] D. JA. MARTYNOV: *Quelques considérations à propos du programme des « Étoiles faibles »*, dans le recueil *Učen. Zap. Kaz. Gosud. Univ.*, **100**, n. 4, 65 (1940).
- [173] L. L. MATKEVIČ: *Sur la méthode de la détermination absolue d'ascension droite des étoiles faibles*, dans l'*Astron. Žu. SSSR*, **22**, 158 (1945).
- [174] L. L. MATKEVIČ: *Catalogue d'ascensions droites de 643 étoiles faibles dans le système FK3, observées au cercle méridien de l'Observatoire Astronomique de Tachkent par Matkevič et Džaljalov*, dans les *Trudy Taš. Astron. Obs.*, Ser. 2, **2**, 1 (1952).
- [175] G. N. NEUJMIN: *Catalogue de travail des nébuleuses extragalactiques pour le rattachement au catalogue des étoiles faibles*, dans le recueil *Učen. Zap. Kaz. Gosud. Univ.*, **100**, n. 4, 86 (1940).
- [176] B. V. NUMEROV: *Zur Schaffung eines Fundamentalsystems schwacher Sterne*, dans *Astron. Nachr.*, **260**, 305 (1936).
- [177] B. V. NUMEROV: *Sur la détermination des erreurs systématiques des déclinaison des étoiles fondamentales*, dans le *Bjull. Inst. Teor. Astron.*, n. 32, 139 (1933).
- [178] B. V. NUMEROV: *Sur la détermination des erreurs systématiques des positions d'étoiles*, dans le *J. des Obs.*, **18**, 57 (1935).
- [179] B. V. NUMEROV: *A propos de la détermination des erreurs systématiques des positions d'étoiles*, dans les *Dokl. Akad. Nauk SSSR*, **2**, 451 (1935).

- [180] B. V. NUMEROV: *Sur la détermination simultanée des corrections des éléments de la planète et de la Terre*, dans l'*Astr. Žu. SSSR*, **12**, 584 (1935).
- [181] B. V. NUMEROV: *Sur la question de la formation du catalogue fondamental des étoiles faibles*, dans les *Dokl. Akad. Nauk SSSR*, **3**, 261 (1936).
- [182] B. V. NUMEROV: *On the problem of simultaneous determination of corrections to the elements of the planet and of the Earth*, dans l'*Astron. J.*, **25**, 105 (1936).
- [183] B. P. OSTAŠČENKO-KUDRJAVEV: *Problème de la détermination simultanée de la latitude et de la constante de la réfraction au cours de la réduction du système des déclinaisons des étoiles faibles*, dans le recueil *Učen. Zap. Kaz. Gosud. Univ.*, **100**, n. 4, 128 (1940).
- [184] P. RYBKA: *Catalogue d'étoiles faibles*, dans le journal *Urania*, **24**, 136 (1953).
- [185] M. F. SUBBOTIN: *On the determination of the equinox corrections from observations of the minor planets*, dans le recueil *Cirk. Glav. Astron. Obs. v Pulk.*, n. 3, 18 (1932).
- [186] M. F. SUBBOTIN: *Quelques considérations sur la construction du catalogue fondamental*, dans l'*Astron. Žu. SSSR*, **14**, 228 (1937).
- [187] M. F. SUBBOTIN: *A propos de l'orientation du catalogue fondamental des étoiles faibles*, dans le recueil *Učen. Zap. Kaz. Gosud. Univ.*, **100**, n. 4, 138 (1940).
- [188] M. S. ZVEREV: *A propos du catalogue d'étoiles faibles*, dans l'*Astron. Žu. SSSR*, **17**, 54 (1940).
- [189] M. S. ZVEREV: *Le catalogue d'étoiles faibles en tant que problème astrométrique* (Edition Akad. Nauk SSSR, 1952).
- [190] M. S. ZVEREV, V. A. IZVEKOV, A. G. OBORENEVA et L. M. HOMMIK: *Sur la liste de catalogue des étoiles faibles*, dans l'*Astron. Žu. SSSR*, **29**, 91 (1952).
- [191] *Une courte instruction pour l'observation de catalogue fondamental des étoiles faibles dans le système FK3*, dans l'*Astron. Žu. SSSR*, **18**, 189 (1941).

## Chapitre 6.

- [192] P. I. BAKULIN: *Détermination de la précession d'après les mouvements propres des étoiles des sous-systèmes plats*, dans le recueil *Astron. Cirk. Akad. Nauk SSSR*, n. 139, 6 (1953).
- [193] S. N. BLAŽKO: *Sur la réfraction astronomique*, dans l'*Astron. Žu. SSSR*, **21**, 307 (1944).
- [194] N. B. DIVARI: *Sur la constante de l'aberration en fonction de la classe spectrale de l'étoile*, dans l'*Astron. Žu. SSSR*, **28**, 518 (1951).
- [195] N. I. DNEPROVSKIJ: *Note on Prof. Harzer's « Refractions Tables » and their comparison with those of Pulkovo and of Ball*, dans le *Bjull. Inst. Teor. Astron.*, n. 16, 177 (1927).
- [196] N. I. DNEPROVSKIJ: *Détermination du coefficient de la température en relation avec la détermination de la période annuelle et journalière de la constante de la réfraction* (recueil d'articles), dans le journal *Glav. Rossijsk. Astron. Obs.*, n. 1, 34 (1922).
- [197] E. P. FEDOROV: *Détermination de l'amplitude du terme bimensuel de la nutation d'après les observations de latitude*, dans le recueil *Astron. Cirk. Akad. Nauk SSSR*, n. 116, 17 (1951).
- [198] V. G. FESENKOV: *Recherches de l'influence de la variation de la température avec la hauteurs sur la réfraction horizontale*, dans le recueil *Vest. Vseross. Astron. Sojuza*, n. 1, 75 (1918).

- [199] V. G. FESENKOV: *Méthode de la détermination du gradient de température d'après la réfraction terrestre*, dans l'Astron. Žu. SSSR, **8**, 187 (1931).
- [200] V. G. FESENKOV: *Détermination de la réfraction aux grandes distances zénithales d'après les observations du Soleil avec le sextant*, dans l'Astron. Žu. SSSR, **4**, 37 (1927).
- [201] B. N. GIMMEL'FARB: *A propos de l'explication de dépendance de la constante de l'aberration de la classe spectrale des étoiles*, dans l'Astron. Žu. SSSR, **30**, 237 (1953).
- [202] J. A. E. GORDON: *Détermination de la constante de la précession d'après la comparaison du catalogue de Schjellerup, 1865.0 et Morin-Kondrat'ev, 1900.0*, dans les Izv. Glav. Astron. Obs. v Pulk., **19**, n. 148, 72 (1952).
- [203] M. A. GRAČEV: *Nouveaux résultats pour l'étude du mouvement du pôle et de la constante de l'aberration*, dans le recueil Vest. Vseross. Astron. Sojuza, n. 2, 23 (1919).
- [204] M. A. GRAČEV et T. A. BANACHIEWICZ: *Constante de la réfraction et la latitude de l'Observatoire d'Engelhardt*, dans les Publ. Astron. Obs. Eng., n. 11, 5 (1925).
- [205] N. I. IDELSON: *Valeurs de réduction en astronomie*, dans l'Astron. Ežegodnic SSSR, 379 (1941).
- [206] N. I. IDELSON: *Constantes fondamentales d'astronomie et de géodésie*, dans l'Astron. Ežegodnic SSSR, 409 (1942).
- [207] N. I. IDELSON: *Détermination de la constante de la nutation d'après les observations de A. S. Vasil'ev à l'instrument des passages dans le premier vertical à Poulkovo*, dans les Trudy Vtoroj Vses. Širotnoj Konf., p. 93 (Moscou, 1949).
- [208] N. I. IDELSON et H. I. POTTER: *Détermination de la constante de la nutation d'après deux séries d'observations à l'instrument des passages dans le premier vertical à Pulkovo*, dans les Izv. Glav. Astron. Obs. v Pulk., **19**, n. 148, 122 (1952).
- [209] G. M. IDLIS: *A propos de l'aberration de la lumière*, dans l'Astron. Žu. SSSR, **31**, 81 (1954).
- [210] I. G. KOLČINSKIJ: *De l'influence de la couleur d'étoiles sur la réfraction*, dans l'Astron. Žu. SSSR, **25**, 369 (1948).
- [211] I. G. KOLČINSKIJ: *Sur les variations rapides de la réfraction et sur leur influence dans l'astrométrie*, dans les Trudy 10j Vses. Astrometr. Konf. 1952, p. 92 (1954).
- [212] I. G. KOLČINSKIJ: *Sur les corrections pour la couleur dans les tables de la réfraction*, dans les Trudy 10j Vses. Astrometr. Konf. 1952, p. 125 (1954).
- [213] V. A. KRAT: *Sur la question des anomalies de la réfraction*, dans l'Astron. Žu. SSSR, **11**, 144 (1934).
- [214] K. A. KULIKOV: *Réflexions à propos de la détermination de la constante de la nutation d'après la mesure des distances polaires des étoiles circumpolaires*, dans l'Astron. Žu. SSSR, **24**, 191 (1947).
- [215] K. A. KULIKOV: *Détermination de la constante de l'aberration d'après les observations au grand zénith-télescope de Poulkovo*, dans l'Astron. Žu. SSSR, **26**, 44 (1949).
- [216] K. A. KULIKOV: *Détermination de la constante de la nutation au zénith-télescope de Poulkovo*, dans l'Astron. Žu. SSSR, **26**, 165 (1949).
- [217] K. A. KULIKOV: *Les travaux effectués dans l'Union Soviétique sur la détermination des constantes fondamentales de l'aberration et de la nutation*, dans le Bull. Astr., **15**, 195 (1950).
- [218] S. B. LUK'JANOV: *Aberration de la lumière*, dans l'Astron. Žu. SSSR, **30**, 302 (1953).
- [219] P. S. MATVEEV: *Terme bimensuel de la nutation d'après les observations de latitude à Poltava de 1949 à 1953*, dans le recueil Astron. Cirk. Akad. Nauk SSSR, n. 143, 17 (1953).



- [220] A. A. MIHAJLOV: *Sur la détermination des constantes de l'aberration, de la nutation et de la précession en utilisant la photographie de la région polaire du ciel*, dans l'Astron. Žu. SSSR, **26**, 38 (1949).
- [221] A. A. NEMIRO: *Sur la valeur de la constante de la précession et sur quelques résultats des observations méridiennes en URSS*, dans le Bull. Astron., **15**, 213 (1950).
- [222] B. V. NUMEROV: *Nouveau programme de zénith-télescope en relation avec la question de la détermination de la constante de l'aberration*, dans les Izv. Glav. Astron. Obs. v Pulk., **8**, n. 85, 19 (1919).
- [223] B. V. NUMEROV: *Étude sur la théorie de la réfraction*, dans les Izv. Russ. Astron. Obšč., **24**, 30 (1922).
- [224] B. V. NUMEROV: *Réfraction ellipsoïdale*, dans le recueil Vest. Vseros. Astron. Sojuza, n. 3, 47 (1923).
- [225] A. JA. ORLOV: *Sur les formules de la nutation pour la déclinaison*, dans le recueil Astron. Cirk. Akad. Nauk. SSSR, n. 116, 16 (1951).
- [226] B. A. ORLOV: *Sur les tables de la réfraction de Poulkovo*, dans les Trudy 10<sup>i</sup> Vses. Astrometr. Konf. 1952, p. 122 (1954).
- [227] N. N. PARIJSKIJ, K. F. OGORODNIKOV et V. G. FESENKOV: *Étude de l'influence des parallaxes des étoiles et de la rotation de la galaxie sur la détermination de la précession luni-solaire de Newcomb*, dans les Trudy Gosud. Astron. Inst. im. Štern., **6**, 104 (1925).
- [228] N. A. POPOV: *Sur les termes à courte période de la nutation dans les observations des étoiles brillantes zénithales à Poltava*, dans les Trudy Polt. Grav. Obs., **4**, 103 (1951).
- [229] L. P. SEMENOV: *Anomalie de la réfraction*, dans l'Astron. Žu. SSSR, **14**, 504 (1937).
- [230] G. SITNIK: *De l'influence de la réfraction sur la trajectoire journalière des étoiles circumpolaires*, dans l'Astron. Žu. SSSR, **11**, 500 (1934).
- [231] M. F. SUBBOTIN: *A proposal for a new method of improving the fundamental star-places and for determining the constant of aberration*, dans le journal Astron. Nachr., **224**, 163 (1925).
- [232] A. S. VASILIEV: *Influence des marées atmosphériques sur les distances zénithales des astres*, dans les Izv. Akad. Nauk SSSR, n. 3, 175 (1919).
- [233] M. S. ZVEREV: *Constantes fondamentales d'astronomie*, dans l'Astron. Žu. SSSR, **28**, 125 (1950).
- [234] M. S. ZVEREV: *Les travaux géodésiques et gravimétriques russes et l'ellipsoïde de Krassovsky*, dans le Bull. Astron., **15**, 243 (1950).
- [235] I. D. ŽONGOLOVIČ: *Champ gravitationnel extérieur de la Terre et les constantes fondamentales liées avec ce champ*, dans les Trudy Inst. Teor. Astron., n. 3, 3 (1952).

## Chapitre 7.

- [236] N. ABAKUMOV: *Détermination de latitude par la méthode de Talcott d'après plusieurs paires liées avec la même position des niveaux de Talcott*, dans l'Astron. Žu. SSSR, **25**, 21 (1948).
- [237] V. K. ABOLD: *Sur la précision des latitudes d'après la méthode de Talcott en utilisant les étoiles zénithales et les paires d'étoiles. Projet d'un zénith-télescope spécial*, dans l'Astron. Žu. SSSR, **16**, 56 (1939).

- [238] V. K. ABOLD: *Résultats de la détermination de la latitude d'après l'étoile  $\beta$  Draconis et les étoiles faibles zénithales*, dans l'*Astron. Žu. SSSR*, **16**, 37 (1939).
- [239] V. K. ABOLD: *Projet de la réorganisation du service international de latitude*, dans l'*Astron. Žu. SSSR*, **24**, 288 (1947).
- [240] V. K. ABOLD: *Schéma du service de latitude soviétique indépendant*, dans l'*Astron. Žu. SSSR*, **25**, 39 (1948).
- [241] V. R. BERG: *Termes périodiques dans les observations à l'instrument des passages dans le 1<sup>er</sup> vertical et variation journalière de latitude du lieu (d'après la série de W. Struve 1840-1842)*, dans les *Izv. Akad. Nauk SSSR*, n. 1, 75 (1937).
- [242] A. D. DROZD: *Provisional results of the reduction of observation with the Pulkovo zenith-telescope during the years 1915-1928*, dans le recueil *Cirk. Glav. Astron. Obs. v Pulk.*, n. 5, 3 (1932).
- [243] A. D. DROZD: *Resultate der erweiterten Programms der Beobachtungen zur Bestimmung der Breite des grossen Pulkowoer Zenithtelesopes*, dans les *Trudy Glav. Astron. Obs. v Pulk.*, **38**, 1 (1932).
- [244] A. D. DROZD: *Die Tägliche Änderung der Breite aus 26729 am Pulkowoer Zenithteleskop angestellten Beobachtungen*, dans les *Izv. Glav. Astron. Obs. v Pulk.*, **14**, n. 120, 5 (1935).
- [245] A. D. DROZD: *Vergleichung der Kurven der Breitenänderung, die aus den Beobachtungen der Internationalen Breitendienstes und auf der Pulkowoer Sternwarte erhalten sind*, dans les *Izv. Glav. Astron. Obs. v Pulk.*, **14**, n. 120, 10 (1935).
- [246] Š. V. DROZDOV: *Déterminations des variations de latitude d'après les observations des étoiles zénithales faibles et des paires*, dans les *Trudy Vtoroj Vses. Širotnoj Konf.*, p. 76 (Moscou, 1949).
- [247] K. K. DUBROVSKIJ: *A propos de la création de la station de latitude à Gor'kiĭ*, dans l'*Astron. Žu. SSSR*, **18**, 133 (1941).
- [248] K. K. DUBROVSKIJ: *Meilleures conditions pour la détermination des variations de latitude*, dans les *Publ. Kiev. Astron. Obs.*, n. 1, 217 (1946).
- [249] K. K. DUBROVSKIJ: *Problème de l'organisation des observations de latitude sur le parallèle 56°15'*, dans le recueil *Učen. Zap. Gor'kovs. Gosud. Univ., Ser. Fiz.-Mat.*, **16**, 59 (1950).
- [250] E. I. EVTUŠENKO: *Onde bimensuelle dans les variations de la latitude de la station d'Ukiah*, dans le recueil *Astron. Cirk. Akad. Nauk SSSR*, n. 113-114, 14 (1951).
- [251] E. P. FEDOROV: *Détermination des valeurs du tour de vis du micromètre d'après l'observation des paires d'étoiles zénithales de Washington*, dans les *Trudy Polt. Grav. Obs.*, **2**, 79 (1948).
- [252] E. P. FEDOROV: *Bases de la théorie actuelle du mouvement des pôles terrestres*, dans les *Trudy Polt. Grav. Obs.*, **2**, 3 (1948).
- [253] E. P. FEDOROV: *Sur les observations de latitude à Poltava*, dans les *Trudy Vtoroj Vses. Širotnoj Konf.*, p. 57 (Moscou, 1949).
- [254] E. P. FEDOROV: *Sur la nature des variations bimensuelles de latitude*, dans le recueil *Astron. Cirk. Akad. Nauk SSSR*, n. 110, 7 (1951).
- [255] E. P. FEDOROV: *Nouveau programme du service de latitude et son étude à Poltava*, dans les *Trudy Polt. Grav. Obs.*, **4**, 294 (1951).
- [256] E. P. FEDOROV: *Sur les variations lentes non polaires de latitude*, dans les *Dokl. Akad. Nauk SSSR*, n. 4, 759 (1953).
- [257] E. P. FEDOROV et E. I. ERTUŠENKO: *Variations bimensuelles lunaires de latitude d'après les observations à Carloforte et à Ukiah de 1899 à 1934*, dans les *Dokl. Akad. Nauk SSSR*, **85**, 731 (1952).

- [258] E. P. FEDOROV et E. I. EVTUŠENCO: *Variations journalières de latitude d'après les observations aux deux zénith-télescopes à Poltava*, dans l'*Astron. Cirk. Akad. Nauk SSSR*, n. 152, 17 (1954).
- [259] E. P. FEDOROV: *Sur l'étude du mouvement de l'axe instantané de la rotation de la Terre*, dans les *Trudy 10<sup>i</sup> Vses. Astrometr. Konf. 1952*, p. 129 (1954).
- [260] E. P. FEDOROV: *Sur la prochaine discussion internationale des méthodes de la variation de la latitude et du mouvement des pôles*, dans les *Trudy 10<sup>i</sup> Vses. Astrometr. Konf. 1952*, p. 138 (1954).
- [261] E. P. FEDOROV: *Sur les observations à Poltava dans le but d'éprouver le nouveau programme pour le Service International de Latitude*, dans le recueil *Sur le but et le programme d'observation du service international de latitude*, p. 83 (Moscou 1954).
- [262] A. E. FILIPPOV: *Application du critère de A. Ja. Orlov pour la détermination de la précision des certaines séries d'observations de latitude*, dans le recueil *Astron. Cirk. Akad. Nauk SSSR*, n. 152, 19 (1954).
- [263] J. E. GORDON: *Programme nouveau du zénith-télescope de Poulkovo*, dans *Izv. Glav. Astron. Obs. v Pulk.*, 17, n. 140 (103 (1947).
- [264] V. V. KAVZAJSKIJ: *Nombres probables des paires d'étoiles bons pour différentes observations au zénith-télescope*, dans les *Izv. Glav. Astron. Obs. v Pulk.*, 10, n. 97, 422 (1926).
- [265] A. G. KOROL': *Mouvement du pôle de la Terre de 1915.8 à 1929.0*, dans les *Trudy Polt. Grav. Obs.*, 3, 162 (1950).
- [266] D. KRAVCOV: *Sur le terme « z » de trois observateurs de la station de la latitude à Kitab*, dans le recueil *Astron. Cirk. Akad. Nauk SSSR*, n. 145, 10 (1954).
- [267] S. G. KULAGIN: *Projet d'un programme d'observations de latitude pour l'Observatoire d'Engelhardt*, dans les *Trudy Polt. Grav. Obs.*, 4, 338 (1951).
- [268] K. A. KULIKOV: *50 ans du service international de latitude*, dans le *Trudy Vtoroj Vses. Širotnoj Konf.*, p. 33 (Moscou, 1949).
- [269] K. A. KULIKOV: *Mouvement des pôles de la Terre et la variation de latitude*, dans le recueil *Usp. Astron. Nauk*, 5, 111 (1950).
- [270] G. A. LANGE: *Sur la variation non polaire de latitude de Kitab*, dans le recueil *Astron. Cirk. Akad. Nauk. SSSR*, n. 111, 8 (1951).
- [271] E. V. LAVRENT'eva et N. A. POPOV: *Sur les variations journalières de latitude d'après les observations de  $\alpha$  Persei et  $\eta$  Ursae Majoris*, dans le recueil *Astron. Cirk. Akad. Nauk SSSR*, n. 70, 8 (1948).
- [272] A. B. MARINBAH: *De l'influence du mouvement du pôle sur les observations astro-géodésiques*, dans les *Trudy Vtoroj Vses. Širotnoj Konf.*, p. 57 (Moscou, 1949).
- [273] A. A. NEMIRO: *Sur la précision des observations de l'azimut et sur la possibilité de son utilisation pour déterminer les coordonnées du pôle terrestre*, dans les *Trudy Vtoroj Vses. Širotnoj Konf.*, p. 69 (Moscou, 1949).
- [274] B. V. NUMEROV: *Programme de la méthode de Talcott pour la détermination de latitude de 30° à 70° - Partie II* (Edition Akad. Nauk SSSR, 1936).
- [275] E. T. OBREZKOVA: *Variation de la latitude moyenne des stations d'Ukiah, de Carloforte et de Misuzawa*, dans le recueil *Astron. Cirk. Akad. Nauk. SSSR*, n. 143, 18 (1953).
- [276] A. JA. ORLOV: *Pôle et son mouvement*, dans le journal *Mirovedenie*, 26, n. 4, 202 (1937).
- [277] A. JA. ORLOV: *Über die Dreiaxsigkeit des Trägheitsellipsoids der Erde aus Breitenbeobachtungen*, dans les *C. R. VII séance Comm. Géod. Balt., Communications*, II<sup>e</sup> partie 319 (Moscou-Léningrad, 1934).

- [278] A. JA. ORLOV: *Nutation libre d'après les observations à Poulkovo de 1812 à 1912*, dans l'*Astron. Žu. SSSR*, **14**, 64 (1937).
- [279] A. JA. ORLOV: *Mouvement du pôle d'après l'observation de latitude à Poulkovo, Greenwich et Washington et à trois stations internationales de 1915.8 à 1928.0*, dans le *Bjull. Gosud. Astron. Inst. im. Štern.*, n. 7, 5 (1941).
- [280] A. JA. ORLOV: *Mouvement du pôle instantané de la Terre par rapport au pôle moyen pendant 47 ans, de 1899 à 1938*, dans le *Bjull. Gosud. Astron. Inst. im. Štern.*, n. 8, 5 (1941).
- [281] A. JA. ORLOV: *Mouvement du pôle de 1891.5 à 1940.0*, dans les *Dokl. Akad. Nauk SSSR*, **37**, 304 (1942).
- [282] A. JA. ORLOV: *Sur la variation de la latitude moyenne de Greenwich*, dans les *Dokl. Akad. Nauk. SSSR*, **42**, 391 (1944).
- [283] A. JA. ORLOV: *Sur la variation de la latitude de Batavia à Java*, dans les *Dokl. Akad. Nauk SSSR*, **51**, 421 (1946).
- [284] A. JA. ORLOV: *Sur le mouvement moyen annuel des axes principaux d'inertie de la Terre*, dans les *Dokl. Akad. Nauk SSSR*, **51**, 507 (1946).
- [285] A. JA. ORLOV: *Comparaison des observations de latitude à Poulkovo et à Washington de 1915.8 à 1929.0*, dans les *Dokl. Akad. Nauk SSSR*, **67**, 37 (1949).
- [286] A. JA. ORLOV: *Mouvement du pôle 1935.0-1940.0*, dans les *Trudy Centr. Naučno-Issled. Inst. Geod. Aér. i Kart.*, n. 43, 5 (1949).
- [287] A. JA. ORLOV: *Sur la variation bimensuelle de latitude d'après les observations  $\delta$  Cassiopeiae à Poulkovo*, dans le recueil *Astron. Cirk. Akad. Nauk SSSR*, n. 107, 1 (1950).
- [288] A. JA. ORLOV: *Mouvement du pôle de 1939 à 1949*, dans les *Dokl. Akad. Nauk SSSR*, **78**, 649 (1951).
- [289] A. JA. ORLOV: *Sur le mouvement séculaire des pôles*, dans le recueil *Sur le but et le programme d'observation du service international de latitude*, p. 83 (Moscou, 1954).
- [290] A. JA. ORLOV, E. P. FEDOROV, K. A. KOULIKOV et M. S. ZVEREV: *Propositions des astronomes de l'URSS relatives à la Commission n. 19 (Les variations de latitude)*, dans le recueil *Sur le but et le programme d'observation du service international de latitude*, p. 103 (Moscou, 1954).
- [291] B. A. ORLOV: *Variations du pôle dans les observations des mires de Poulkovo*, dans *Izv. Glav. Astron. Obs. v Pulk.*, **17**, n. 140, 115 (1947).
- [292] N. N. PARIJSKIJ: *De l'influence de la circulation atmosphérique sur le mouvement du pôle de la Terre*, dans le recueil *Astron. Cirk. Akad. Nauk SSSR*, n. 152, 15 (1954).
- [293] N. A. POPOV: *Variation de la latitude d'après l'observation de deux étoiles brillantes*, dans les *Trudy Polt. Grav. Obs.*, **2**, 21 (1948).
- [294] N. A. POPOV: *Sur le calcul de l'influence du mouvement du pôle dans les travaux astro-géodésiques de campagne*, dans les *Trudy Vtoroj Vses. Širotnoj Konf.*, p. 81 (Moscou, 1949).
- [295] N. A. POPOV: *Grand zénith-télescope de Poltava et les observations avec ce télescope en 1939-1940*, dans les *Trudy Polt. Grav. Obs.*, **3**, 13 (1950).
- [296] N. A. POPOV et E. I. EVTUŠENKO: *Détermination des variations de latitude d'après les observations à Valtazmut*, dans les *Trudy Polt. Grav. Obs.*, **4**, 250 (1951).
- [297] V. I. SAHAROV: *Sur les erreurs saisonnières de la détermination de l'azimut des mires du grand instrument des passages de l'Observatoire de Poulkovo*, dans les *Izv. Glav. Astron. Obs. v Pulk.*, **19**, n. 148, 147 (1952).



- [298] V. I. SAHAROV et I. F. KORBUT: *Sur la question de la révision du programme des observations de latitude à Poulkovo*, dans les *Trudy 10<sup>i</sup> Vses. Astrometr. Konf. 1952*, p. 140 (1954).
- [299] V. I. SAHAROV et I. F. KORBUT: *Sur la révision du programme du zénith-télescope de Pulkovo*, dans le recueil *Sur le but et le programme d'observation du service international de latitude*, p. 83 (Moscou, 1954).
- [300] L. N. ŠČIRŽECKIJ: *Service de latitude à l'Observatoire de Kitab*, dans les *Trudy Polt. Širot. Konf. 1939*, p. 24 (1941).
- [301] A. S. VASIL'EV: *Période mensuelle dans la variation de la latitude du lieu*, dans *Izv. Akad. Nauk SSSR*, n. 7, 577 (1918).
- [302] A. S. VASIL'EV: *Onde solaire journalière de la variation de la latitude du lieu d'après les observations de W. Struve en 1840-1842 à Poulkovo*, dans les *Izv. Akad. Nauk SSSR*, n. 10, 1517 (1934).
- [303] A. S. VASIL'EV: *Variations de la latitude de Poulkovo en 1896.3-1902.3 d'après les observations de A. D. Pedačenko dans le premier vertical à l'instrument de passage*, dans les *Trudy Glav. Astron. Obs. v Pulk.*, **48**, 1 (1936).
- [304] A. S. VASIL'EV: *Latitude de Poulkovo en 1917-1941 d'après les observations à l'instrument des passages dans le premier vertical*, dans les *Trudy Glav. Astron. Obs. v Pulk.*, **69**, 1 (1952).
- [305] A. S. VASIL'EV et N. I. VASIL'EVA: *Onde solaire journalière de la latitude du lieu d'après les différences des distances zénithales de  $\beta$  Cassiopeiae et Draconis observées par A. S. Vasil'ev en 1918-1928 à Poulkovo*, dans les *Izv. Akad. Nauk SSSR*, n. 6, 885 (1935).
- [306] M. K. VENCEL: *Réduction des latitudes, des longitudes et des azimuts au pôle moyen* (ONTI, 1936).
- [307] S. V. VOROŠILOVA-ROMANSKAJA: *On the diurnal variations in latitude observations*, dans le recueil *Cirk. Glav. Astron. Obs. v Pulk.*, n. 17, 23 (1936).
- [308] B. ZEMCOV: *Variations de latitude observées au grand zénith-télescope de Poulkovo de 1904 à 1915*, dans les *Izv. Glav. Astron. Obs. v Pulk.*, **8**, n. 85, 1 (1919).
- [309] *Catalogue de 1967 étoiles de programme de la méthode de Talcott pour l'époque 1930 avec les valeurs de réduction à la position apparente* (Edition Inst. Teor. Astron., 1933).

## Foreign Language Publications in Physics of the Hungarian Academy of Science.

J. G. VALATIN

*Department of Mathematical Physics, University of Birmingham, England*

(ricevuto il 30 Agosto 1954)

### C O N T E N T S

The first three volumes of the new series of the *Acta Physica Hungarica*, which contains a considerable section of the physics publications from Hungary, are reviewed. The papers are grouped according to the following headings: 1) Statistical theory of atoms and atomic nuclei. 2) Molecular physics. 3) Solid state physics. 4) Cosmic rays, field theory, and other subjects. In the bibliography, the papers are listed with titles and are ordered according to subject.

---

The Hungarian Academy started publishing in 1947 a new journal in physics with the title *Hungarica Acta Physica*. In 1951, a new series of these editions was started under the title *Acta Physica*; according to the conventions of Science Abstracts this is quoted as *Acta Phys. Hung.* As this new journal contains a considerable section of the physics publications from Hungary, and since it can be found at present only in relatively few Western libraries, the editors of this review *Supplemento al Nuovo Cimento* thought that a review of this periodical should be included in the present issue. Accordingly, an attempt is made here to give a short review of the first three volumes of the new series of the *Acta Physica Hungarica*. This covers the period 1951-1954; the last issue of the third volume appeared at the end of May 1954.

According to the editorial notes, the *Acta Physica* publishes papers in Russian, French, English and German. The actual distribution of these languages in the volumes under review can be seen from the bibliography, where the language is indicated after each reference by the initial (R), (F), (E), or (G).

The *Acta* contains papers and brief reports. The papers start with short summaries. After each paper written in a Western language there is a Russian summary. After the Russian papers there is a summary in a Western language. The scientific editor of the new series is GOMBÁS, with a committee consisting of GYULAI, JÁNOSY, KOVÁCS and NOVOBÁTZKY.

Physics publications from Hungary are found also in periodicals such as the *Annalen der Physik*, *Nature*, or *Journal of Chemical Physics*. These are sometimes short reports of work published in more detail in the *Acta Physica*, but there are also independent publications in these journals. A few of these foreign publications are quoted in the bibliography in connection with this review. The Hungarian Academy also has publications in Hungarian. These can be read necessarily only by a restricted public, and the *Acta Physica* contains the more representative papers. As the restriction of the title to foreign language publications indicates, these Hungarian publications are not reviewed here.

The selection of the papers mentioned in this review is bound to be a somewhat arbitrary one. More justice is done in the bibliography which contains all the papers of the three volumes, ordered according to their subject. The classification into subjects is not quite rigorous, and there is a variety of subjects condensed in the last section.

### 1. — Statistical Theory of Atoms and Atomic Nuclei.

The behaviour of atomic electrons is described in the statistical theory by means of the continuous charge distribution of an electron gas, and the equations are obtained by statistical methods [86]. GOMBÁS introduced some time ago an effective potential into the equations of the statistical model which, in the case of closed *s* and *p* electron shells, replaces well the effect exerted through the exclusion principle by the occupied orbits of the closed shell. In a more recent paper [1], starting from the grouping of the electrons according to the orbital quantum number, he obtains a more exact expression for this potential, which gives satisfactory results also for atoms whose core has a closed outer *d*-shell. This grouping of the electrons and the modified potential is used [2] to obtain the equation of the statistical potential distribution, and the model is applied to the theory of noble metals [3]. Results of detailed calculations are given for a metallic Cu lattice, and previous calculations of the alkali metals, which were obtained by means of the simpler model, are checked.

In previous calculations, the kinetic energy of the electrons with density  $\varrho$  was represented by the sum of the Fermi energy, proportional to  $\varrho^{2/3}$ , and of Weizsäcker's inhomogeneity correction which is an expression proportional to

$(\text{grad } \varrho)^2/\varrho$ . GOMBÁS points out [4] that in this way a part of the kinetic energy is counted twice and he introduces [5] a suitable correction term into the model. The equations are deduced taking into account the grouping of the electrons according to the orbital quantum number, and the calculations can be extended with the help of several other corrections to include the lightest elements. Energy calculations give in this way good agreement with empirical values. In contrast to previous models, and in accordance with wave mechanical calculations, the new model gives a finite electron density near the nucleus and an exponentially decreasing density for large distances.

Wave mechanical considerations concerning corrections to the statistical kinetic energy are given along a different line by PAUNCZ [6]. Gombás statistical method of calculating cohesive properties of metals is extended to the case of metals with several valence electrons by GÁSPÁR [7] who calculates the lattice energy, lattice spacing, sublimation energy and compressibility of aluminium. GOMBÁS and GÁSPÁR [8, 87] give the solution of the Thomas-Fermi-Dirac equation of the statistical model for neutral noble gas atoms, with the boundary condition corresponding to a minimum energy of the atomic system, using the numerical solution given by Umeda for different boundary conditions.

In the «self-consistent field» method, the average field in which an atomic electron is considered to move is calculated from wave mechanical equations. GÁSPÁR [9, 88] considers existing results for different elements concerning the effective nuclear charge  $Z_p$  as a function of the distance  $r$ , calculated in the Hartree approximation in which the antisymmetry of the wave function of the electronic system is not taken into account, and finds that on introducing units which are familiar in the statistical theory, the reduced nuclear charge  $Z_p/Z$  as a function of a length proportional to  $rZ^{1/3}$  is a universal function, independent of the atomic number  $Z$ . A simple analytic expression can be given for this function which is used in calculating eigenfunctions and energy values of atomic electrons. Adding to the potential  $Z_p e/r$  the expression for the exclusion principle effect of the inner shells [1], GOMBÁS and GÁSPÁR [10] calculate electronic data for a Se atom. In a later paper [11], GÁSPÁR includes in his universal potential a term corresponding to exchange effects, and solving numerically the Schrödinger equation of a single electron with data of a Cu atom, he obtains good agreement with calculations according to the wave-mechanical Hartree-Fock method.

A simple statistical model for atomic nuclei is dealt with by ROMÁN [16]. GOMBÁS [17, 89, 90] works out in detail the statistical theory of a nucleon gas with scalar Yukawa-type interactions, in which the only freely adjustable parameter is the interaction strength. Assuming as a first approximation a Gaussian density distribution, the total energy is minimized, and reasonable agreement is obtained with experimental radii and binding energies. On intro-



ducing [18, 91, 92] as a second approximation a density of the form  $\exp[-(r^2/a^2)](1 + br^2)$ , it is shown that  $b$  has only a very small effect and the density remains Gaussian. With the calculated Gaussian distribution values of proton and neutron numbers at which the first  $s$ ,  $p$ ,  $d$ , ... nucleons appear, are deduced from the statistical model [19]. Dilation oscillations of a spherical nuclear drop model are investigated by MARX [20, 93], and the results are compared with observed  $\gamma$ -ray resonances.

## 2. — Molecular Physics.

A number of papers deal with the theory of hydrogen halide molecules. The problem is approached from the side of the statistical model in a paper by GÁSPÁR and KÓNYA [21] in which the ionic potential curve and the electron density distribution of HI are calculated by means of a perturbation method including correlation correction, and without the use of empirical constants. HORVÁTH [22, 94] discusses the calculation of the polarization energy, and NÁRAY [23, 24] derives molecular data for HCl and HF from wave mechanical calculations, starting from an ionic model.

London's method of calculating the large diamagnetic anisotropy of aromatic hydrocarbons, by considering the motion of electrons around the aromatic rings, is applied by PAUNCZ and BERENCZ [26] to investigate the dependence of diamagnetic anisotropy on the shape of the molecule, in the case of four-ring aromatic hydrocarbons like chrysine and triphenylene. BUDÓ [28] treats the Debye theory of dielectric relaxation which gives account of the frequency dependence of the dielectric constant in dipole liquids. Including more detail concerning the form and structure of the individual molecules, considerations of Debye and Ramm, which take into account the hindering effect of the molecular surroundings, are extended to the case of ellipsoidal molecules and of molecules with freely rotating dipole groups.

In molecular spectra, the observation of irregularities in the expected sequence of energy levels, which are due to the presence of other neighbouring levels, can give valuable information about the energy system of the molecule. The working out of theoretical details of these perturbations for different coupling cases and multiplicities is helpful in the interpretation of spectra. This subject was dealt with in several earlier papers by BUDÓ and KOVÁCS who write [29] on the theory of molecular perturbations and deal especially with the effect of a spin-orbit coupling. KOVÁCS [30, 31] describes methods for determining the rotational constants of energy levels of diatomic molecules from perturbation data and gives explicit formulae for their calculation. Reports by KOVÁCS and BUDÓ [32, 95], and by DEÉZSI, KOCKÁS, MÁTRAI [33] on the rotational analysis of blue bands of SrO indicate that, after some

interval, experimental work on molecular spectra has been restarted in the spectroscopic laboratory of Budapest, known some time ago by the work of SCHMID and GERÖ. BARDÓCZ [34, 96, 35] gives details on the operation and control of interrupted electric arc light sources serving for spectrum analysis.

### 3. — Solid State Physics.

The theory of solids is investigated in a series of papers. HOFFMANN and KÓNYA [36] deal first with a linear chain of similar atoms. Taking the electron wave function as a linear combination of wave functions of atomic orbitals, the secular equations are solved for the cases of vanishing and non-vanishing overlap integrals. End effects resulting from the finite length of the chain are then investigated. HOFFMANN [37] extends the considerations of the previous paper to chains with atoms of different kinds, and calculates band energies and density of state curves for several types of binary systems. He considers then the case of a square plane lattice and a simple cubic space lattice [38], and treats the simplest binary system [39]. This involves considerable mathematical work, combined with numerical calculations. He discusses stability problems, and surface effects corresponding to a single atomic layer [40]. PÁL [41] deals with the temperature dependence of the anisotropic free energy in ferromagnetic crystals.

Results of several years of research on luminescence by SZIGETI, NAGY and collaborators are summarized in a paper by NAGY [42]. The emission spectra of zinc silicates activated with manganese (willemites) have been resolved into distinct bands with different decay constants. Temperature dependence of the bands using varying manganese concentrations has been investigated, and it has been observed that the rapid drop in fluorescence efficiency at high temperatures is accompanied by a rise in the dielectric loss [97].

NAGY and GERGELY [43] reinvestigate the emission spectrum with excitations of various duration and as a function of time after the excitation ceases. NAGY [44] reports on a more quantitative investigation of the temperature dependence on some twenty-four willemites, containing various amounts of manganese activator, and of iron impurities which decrease the light output of luminescence. BODÓ [45] investigates optical properties of luminescent powders as functions of the grain size, and works out a method of determining the absorption coefficient from the diffuse reflexion of powder layers. He finds [46] that at  $2537 \text{ \AA}$  the absorption effect due to the lattice is negligible for willemites. The absorption coefficient is a linear function of the Mn and Fe concentrations and is temperature independent. NAGY and BODÓ [47] deal with the poisoning effect of iron, the major part of which is due to the dissipation of energy already absorbed by the manganese. BODÓ [48] shows

by calorimetric measurements that the energy related to the loss of luminescence efficiency with increasing iron content is entirely converted into heat. An electrical compensating method, for the registration of rise and decay phenomena of luminescence in which several processes with exponential behaviour are superimposed, is described by VALKÓ and GERGELY [51, 52].

TOMKA [53] and BOROS and SIBALSZKY [54] give measurements on the electric conductivity of alkali halide crystals. TARJÁN [55] reports that natural NaCl crystals originating from Wieliczka show an additional photoconductivity effect whose spectral distribution depends on the excitation conditions. The growth of crystals, a subject which has shown rapid development in recent years, is treated by GYULAI and BIELECK [56]. They discuss the idea of a partially-ordered transition layer between the growing crystal and its solution, and explain in terms of it observations on features of growing crystal faces.

#### 4. - Cosmic Rays, Field Theory, and Other Subjects.

The theory of cascade processes in cosmic rays is dealt with in a paper by JÁNOSSY [57] in which results of previous papers are reviewed and extended. The diffusion equations for the generating function  $G$  describing the probability distribution of a cascade, Jánossy's  $G$ -equations [98, 99], are given in a generalized form. The equations for the various moments of the probability distributions are derived from the  $G$ -equations, and applications to problems of air showers are investigated. In another paper [58], practical methods are discussed for finding the predominant periodic components out of a large amount of experimental material, without a complete Fourier analysis, and a numerical example is worked out. On experimental work in cosmic ray physics, the volumes under review contain only a short report by FENYVES and HAIMAN [59] on coincidence measurements underground, at a depth of 650 meters water equivalent.

In a long paper [61, 100], JÁNOSSY expresses the view that those ideas of relativity which are difficult to accept because of their new conceptions about time and space can be dispensed with, and suggests that the light velocity should not be regarded as an upper limit for the propagation of physical actions. Similar suggestions appeared earlier in Russian periodicals, but the Soviet philosopher and Academician MITIN reported [101] in his address to the Russian Academy of Science in 1942 that, as a result of tremendous work and many discussions between philosophers and physicists, Soviet philosophical conclusions concerning the theory of relativity had by then been firmly established, and he described concepts about space and time in terms which are in agreement with Einstein's views. In a second paper [62, 102], analysing the concepts of quantum theory, JÁNOSSY comes to the conclusion that some



of the results of orthodox quantum theory are speculative and can be dispensed with. He describes a qualitative attempt to modify wave mechanics.

MARX [65] investigates quantum field theories whose Lagrangian contains higher order derivatives. He obtains the energy-momentum tensor from the Lagrangian by means of functional derivation with respect to the metrical tensor  $g_{\mu\nu}$  and separates the angular momentum operator into spin and orbital parts. Treating problems in classical electrodynamics, he deals with the properties of an electromagnetic field whose sources include permanent magnets [66], and with phenomenological electromagnetic theory in moving anisotropic media [67]. MARX and GYÖRGYI [68] investigate in detail the energy-momentum tensor, ponderomotive forces and radiation pressure in dielectrics. HORVÁTH [69] develops the classical theory of an electron with a magnetic moment, interacting with its self-field, with applications of the analytical continuation method of Marcel Riesz. KALITZIN [70] reports on a 6-dimensional theory, in continuation of work published in the Proceedings of the Bulgarian Academy.

The remaining papers deal with a variety of subjects. SZAMOSI [72, 103] presents calculations on the nuclear shell model, including a spin-orbit coupling in the equations. NEUGEBAUER [74] discusses possible connections between gravitation and magnetism in connection with the earth's magnetic moment. CSADA [75] treats the magneto-hydrodynamics of turbulence. J. NAGY [77] measures the excitation curve of an  $\alpha$ -particle reaction.

DALLOS [78] describes an electronic pulse spectrograph for investigating the amplitude spectrum of random pulses of  $10^{-6}$  sec.. FARAGÓ, GÉCS and MERTZ [79] report that a simple nuclear resonance arrangement, given by Hopkins for determining the resonance value of the magnetic field for a given oscillator frequency, can also be used to determine the absorption curve quantitatively.

SELÉNYI [80] suggests a modification of Eötvös' rotated balance experiment which shows the change of gravity on bodies moving in the east-west direction. In the modified arrangement, with a rest position of the balance beam in the north-south direction the beam oscillations show Eötvös' effect: with the east-west direction as rest position the influence of the Coriolis forces is not effective, and this second position can serve as a test for the effect. In papers of varying subject, SELÉNYI deals with colorimetry [81], the problems of selenium rectifiers [82] and photoelements [83], the production of photographic images on selenium layers [84], and a method of fixing images produced in an electron microscope, with possible applications in the field of large screen television [85]. The death of SELÉNYI, in March 1954, has been announced in *Nature* [104].

Book publications of the Hungarian Academy are not reviewed here. However, an edition of the collected works of Roland Eötvös [105] should be noted, and the opportunity should be used to mention a book of mathematics published



in French, on functional analysis by Frédéric RIESZ and Béla SZ.-NAGY [106]. The book deals with modern chapters of integration theory, integral equations, Hilbert space and linear transformations, and mathematical physicists will especially appreciate the ease with which its pages can be read.

## 5. — Bibliography.

### 1. *Statistical theory of atoms and atomic nuclei.*

- [1] P. GOMBÁS: *On an extension of the statistical formulation of the exclusion principle of fully occupied electron states in atoms*, in *Acta Phys. Hung.*, **1**, 285-294 (1951), (G).
- [2] P. GOMBÁS: *On a statistical atomic model in which the electrons are grouped according to the orbital quantum number*, in *Acta Phys. Hung.*, **1**, 295-300 (1951), (G).
- [3] P. GOMBÁS: *On the theory of noble metals and alkali metals*, in *Acta Phys. Hung.*, **1**, 301-316 (1951), (G).
- [4] P. GOMBÁS: *On Weizsäcker's inhomogeneity correction to the statistical kinetic energy*, in *Acta Phys. Hung.*, **3**, 105-125 (1953), (G).
- [5] P. GOMBÁS: *On a kinetic energy correction of the statistical atomic model*, in *Acta Phys. Hung.*, **3**, 127-154 (1953), (G).
- [6] R. PAUNCZ: *Correction in Fermi's kinetic energy formula*, in *Acta Phys. Hung.*, **1**, 277-283 (1951), (R).
- [7] R. GÁSPÁR: *On the binding of metallic aluminium*, in *Acta Phys. Hung.*, **2**, 31-46 (1952), (G).
- [8] P. GOMBÁS and R. GÁSPÁR: *On the solution of the Thomas-Fermi-Dirac equation*, in *Acta Phys. Hung.*, **1**, 66-74 (1951), (G).
- [9] R. GÁSPÁR: *On an analytic approximation method for the determination of eigenfunctions and energy eigenvalues of atomic electrons*, I, *Acta Physica Hung.*, **2**, 151-170 (1952), (G).
- [10] P. GOMBÁS and R. GÁSPÁR: *On an analytic approximation method for the determination of eigenfunctions and energy eigenvalues of atomic electrons*, II: *Calculation of higher energy states, The electronic structure of the Se-atom*, in *Acta Phys. Hung.*, **2**, 335-343 (1952), (G).
- [11] R. GÁSPÁR: *On an approximation of the Hartree-Fock potential by means of a universal potential function*, in *Acta Phys. Hung.*, **3**, 263-286 (1954), (G).
- [12] P. GOMBÁS and R. GÁSPÁR: *On a theoretical basis for Slater's semi-empirical atomic eigenfunctions*, in *Acta Phys. Hung.*, **1**, 317-324 (1951), (G).
- [13] J. I. HORVÁTH: *Remarks on the solution of the Schrödinger equation by means of the variational method*, in *Acta Phys. Hung.*, **3**, 323-327 (1954), (G).
- [14] P. GÁSPÁR: *On the behaviour of the statistical electron density near the atomic nuclei*, in *Acta Phys. Hung.*, **3**, 339-341 (1954), (G).
- [15] R. GÁSPÁR: *Coherent scattering of X-rays and high-speed electron rays by atoms. The atomic form-factor*, in *Acta Phys. Hung.*, **3**, 59-63 (1953), (E).
- [16] P. ROMÁN: *A new statistical theory of atomic nuclei*, in *Acta Phys. Hung.*, **1**, 107-114 (1951), (E).
- [17] P. GOMBÁS: *The statistical theory of the atomic nucleus*, Part I, in *Acta Phys. Hung.*, **1**, 329-390 (1951), (G). (Errata in Vol. 3).

- [18] P. GOMBÁS: *The statistical theory of the atomic nucleus*, Part II, in *Acta Phys. Hung.*, 223-246 (1952), (G). (Errata in Vol. 3).
- [19] P. GOMBÁS: *On the angular momentum distribution of the nucleons in a nucleus*, in *Acta Phys. Hung.*, 2, 247-259 (1952), (G).
- [20] G. MARX: *On the dilation oscillations of atomic nuclei*, in *Acta Phys. Hung.*, 3, 1-10 (1953), (G).

## 2. *Molecular physics.*

- [21] R. GÁSPÁR and A. KÓNYA: *On the theory of the HI molecule*, in *Acta Phys. Hung.*, 3, 31-44 (1953), (G).
- [22] J. I. HORVÁTH: *On the numerical calculation of the polarization energy*, in *Acta Phys. Hung.*, 2, 47-53 (1952), (G).
- [23] Zs. NÁRAY: *On the wave mechanical theory of the HCl molecule*, in *Acta Phys. Hung.*, 2, 55-65 (1952), (G).
- [24] Zs. NÁRAY: *Wave mechanical calculation of a few constants of the HF molecule*, in *Acta Phys. Hung.*, 3, 255-262 (1954), (G).
- [25] G. FREUD: *On Mohrenstein's calculation of the H<sub>2</sub> molecule*, in *Acta Phys. Hung.*, 1, 325-328 (1951), (G).
- [26] R. PAUNCZ and F. BERENCZ: *The diamagnetic anisotropy of four-ring condensed aromatic hydrocarbons*, in *Acta Phys. Hung.*, 2, 183-193 (1952), (E).
- [27] TH. NEUGEBAUER: *On the physical interaction of cancerogenic substances with chain molecules*, in *Acta Phys. Hung.*, 2, 345-347 (1952), (G).
- [28] Á. BUDÓ: *On the theory of dielectric relaxation in dipole liquids*, in *Acta Phys. Hung.*, 2, 13-29 (1952), (G).
- [29] Á. BUDÓ and I. KOVÁCS: *On perturbations in band spectra*, in *Acta Phys. Hung.*, 1, 84-96 (1951), (G).
- [30] I. KOVÁCS: *On the calculation of rotational constants of diatomic molecular energy levels from perturbation data*, II, in *Acta Phys. Hung.*, 1, 97-103 (1951), (G).
- [31] I. KOVÁCS: *On the calculation of rotational constants of diatomic molecular energy levels from perturbation data*, III, in *Acta Phys. Hung.*, 2, 141-150 (1952), (G).
- [32] I. KOVÁCS and Á. BUDÓ: *Investigations on the blue bands of SrO*, in *Acta Phys. Hung.*, 1, 469-470 (1951), (G).
- [33] I. DEÉZSI, E. KOCKÁS and T. MÁTRAI: *Rotational analysis of some blue bands of the SrO molecule*, in *Acta Phys. Hung.*, 3, 95-103 (1953), (G).
- [34] Á. BARDÓCZ: *Investigations concerning light sources for spectrum analysis*, I, *Interrupted arc source for spectrum analysis*, in *Acta Phys. Hung.*, 1, 247-260 (1951), (E).
- [35] Á. BARDÓCZ: *Investigations concerning light sources for spectrum analysis*, II, *Electronically controlled A.C. operated D.C. interrupted arc source*, in *Acta Phys. Hung.*, 2, 265-276 (1952), (E).

## 3. *Solid state physics.*

- [36] T. A. HOFFMANN and A. KÓNYA: *Some investigations in the field of the theory of solids*, I. *Linear chain of similar atoms*, in *Acta Phys. Hung.*, 1, 5-35 (1951), (E).
- [37] T. A. HOFFMANN: *Some investigations in the field of the theory of solids*, II. *Linear chain of different atoms. Binary systems*, in *Acta Phys. Hung.*, 1, 175-195 (1951), (E).

- [38] T. A. HOFFMANN: *Some investigations in the field of the theory of solids, III. Plane and space lattice of similar atoms*, in *Acta Phys. Hung.*, **2**, 97-106 (1952), (E).
- [39] T. A. HOFFMANN: *Some investigations in the field of the theory of solids, IV. A-B-type ordered binary systems in the plane and the space*, in *Acta Phys. Hung.*, **2**, 107-127 (1952), (E).
- [40] T. A. HOFFMANN: *Some investigations in the field of the theory of solids, V. Adsorption, Surface states*, in *Acta Phys. Hung.*, **2**, 195-208 (1952), (E).
- [41] L. PÁL: *Some remarks on the quantum theory of energy anisotropy of ferromagnetic crystals*, in *Acta Phys. Hung.*, **3**, 287-302 (1954), (R).
- [42] E. NAGY: *Luminescence phenomena in willemite phosphors*, in *Acta Phys. Hung.*, **1**, 115-125 (1951), (E).
- [43] E. NAGY and GY. GERGELY: *Spectra in phosphorescence*, in *Acta Phys. Hung.*, **1**, 127-133 (1951), (E).
- [44] E. NAGY: *Temperature-dependence of willemite luminescence*, in *Acta Phys. Hung.*, **2**, 89-92 (1952), (E).
- [45] Z. BODÓ: *Some optical properties of luminescent powders*, in *Acta Phys. Hung.*, **1**, 135-150 (1951), (E).
- [46] Z. BODÓ: *Measurement of the ultraviolet absorption of fluorescent powders by their diffuse reflexion*, in *Acta Phys. Hung.*, **2**, 5-11 (1952), (E).
- [47] E. NAGY and Z. BODÓ: *Luminescence of willemites containing manganese and iron*, in *Acta Phys. Hung.*, **2**, 175-182 (1952), (E).
- [48] Z. BODÓ: *Determination of quantum efficiency of luminescent powders by calorimetric measurement*, in *Acta Phys. Hung.*, **3**, 23-30 (1953), (E).
- [49] Z. BODÓ and I. HANGOS: *Covering of a plane surface with granular material*, in *Acta Phys. Hung.*, **3**, 155-169 (1954), (E).
- [50] GY. GERGELY: *Notes on the rise and decay of willemite luminescence*, in *Acta Phys. Hung.*, **1** 197-198 (1951), (E).
- [51] I. P. VALKÓ and GY. GERGELY: *A new method for investigating relaxation processes*, in *Acta Phys. Hung.*, **1**, 261-276 (1951), (E).
- [52] I. P. VALKÓ and GY. GERGELY: *An improvement on the compensating method for measuring the rise and decay of luminescence*, in *Acta Phys. Hung.*, **2**, 261-263 (1952), (E).
- [53] P. TOMKA: *Contributions on the electrical conduction of coloured and uncoloured alkali halide crystals*, in *Acta Phys. Hung.*, **2**, 209-222 (1952), (G).
- [54] J. BOROS and Z. SIBALSZKY: *Electronic conduction in coloured alkali halide crystals*, in *Acta Phys. Hung.*, **2**, 277-288 (1952), (G).
- [55] I. TARJÁN: *On the photoelectric behaviour of NaCl crystals irradiated by X-rays*, in *Acta Phys. Hung.*, **3**, 303-321, (1954), (G).
- [56] Z. GYULAI and S. BIELECK: *The transition layer between growing crystals and their solutions*, in *Acta Phys. Hung.*, **1**, 199-207 (1951), (G).

#### 4. Cosmic rays, field theory, and other subjects.

- [57] L. JÁNOSSY: *Studies on the theory of cascades*, in *Acta Phys. Hung.*, **2**, 289-333 (1952), (E).
- [58] L. JÁNOSSY: *Search for periodicities*, in *Acta Phys. Hung.*, **1**, 36-55 (1951), (E).
- [59] E. FENYVES and O. HAIMAN: *Measurements of the cosmic radiation underground*, in *Acta Phys. Hung.*, **2**, 93-95 (1952), (E).

- [60] L. JÁNOSSY: *The passage of a wave packet through a potential barrier*, in *Acta Phys. Hung.*, **2**, 171-174 (1952), (E).
- [61] L. JÁNOSSY: *On the physical interpretation of the Lorentz transformation*, in *Acta Phys. Hung.*, **1**, 391-422 (1951), (E).
- [62] L. JÁNOSSY: *The physical aspects of the wave-particle problem*, in *Acta Phys. Hung.*, **1**, 423-467, (1951), (E).
- [63] G. MARX: *Some notes on the quantization of real fields*, in *Acta Phys. Hung.*, **1**, 104-106 (1951), (E).
- [64] G. MARX: *The interaction of elementary particles and the conservations laws*, in *Acta Phys. Hung.*, **3**, 55-58 (1953), (G).
- [65] G. MARX: *Angular momentum in quantum field theory*, in *Acta Phys. Hung.*, **1**, 209-233 (1951), (G).
- [66] G. MARX: *Relativistic electrodynamics of magnets*, in *Acta Phys. Hung.*, **2**, 67-84 (1952), (G).
- [67] G. MARX: *The electromagnetic field in moving anisotropic media*, in *Acta Phys. Hung.*, **3**, 75-94 (1953), (G).
- [68] G. MARX and G. GYÖRGYI: *The energy-momentum tensor of the electromagnetic field and the ponderomotive forces in dielectrics*, in *Acta Phys. Hung.*, **3**, 213-242 (1954), (G).
- [69] J. I. HORVÁTH: *The equations of motion of the electron*, in *Acta Phys. Hung.*, **3**, 171-204 (1954), (G).
- [70] N. S. KALITZIN: *On a new nuclear theory*, in *Acta Phys. Hung.*, **3** 45-53 (1953), (G).
- [71] G. SZAMOSI: *Note on the connections between elementary particles*, in *Acta Phys. Hung.*, **2**, 85-87 (1952), (E).
- [72] G. SZAMOSI: *On the spin-orbit interaction between nucleons*, in *Acta Phys. Hung.*, **3**, 243-254 (1954), (E).
- [73] TH. NEUGEBAUER: *On the problem of the zero-point motion*, in *Acta Phys. Hung.*, **1**, 167-173 (1951), (G).
- [74] TH. NEUGEBAUER: *On a relationship between gravitation and magnetism*, in *Acta Phys. Hung.*, **1**, 151-165 (1951), (G).
- [75] I. K. CSADA: *On the magnetic effects of turbulence in ionized gases*, in *Acta Phys. Hung.*, **1**, 235-246 (1951), (E).
- [76] CH. JORDAN: *On the equation of state of van der Waals*, in *Acta Phys. Hung.*, **3**, 335-338 (1954), (F).
- [77] J. NAGY: *Determination of the excitation function of  $^{12}\text{Mg}(\alpha, n)^{14}\text{Si}$  nuclear processes*, in *Acta Phys. Hung.*, **3**, 15-21 (1953), (E).
- [78] A. DALLOS: *Pulse spectrograph*, in *Acta Phys. Hung.*, **1**, 56-65 (1951), (E).
- [79] P. S. FARAGÓ, M. GÉCS and J. MERTZ: *On the application of a simple magnetic resonance absorption device for quantitative measurements*, in *Acta Phys. Hung.*, **3**, 329-333 (1954), (E).
- [80] P. SELÉNYI: *On a possible modification and extension of Eötvös' rotated balance experiment*, in *Acta Phys. Hung.*, **1**, 75-83 (1951), (G).
- [81] P. SELÉNYI: *A simple optical instrument for the determination of the predominant colour and the saturation degree of coloured light and of coloured bodies*, in *Acta Phys. Hung.*, **3**, 205-212 (1954), (G).
- [82] P. SELÉNYI: *A simple experiment on producing or destroying the blocking effect of the selenium rectifier*, in *Acta Phys. Hung.*, **3**, 11-14 (1953), (G).
- [83] P. SELÉNYI: *Sensitization of selenium photoelements to the infrared by mercury vapour*, in *Acta Phys. Hung.*, **3**, 65-73 (1953), (E).



- [84] P. SELÉNYI: *Production of photographic pictures on selenium by crystallization under the action of light*, in *Acta Phys. Hung.*, **2**, 129-139 (1952), (G).
- [85] P. SELÉNYI: *Application of electrography in electron microscopy and in large-screen television*, in *Acta Phys. Hung.*, **2**, 1-4 (1952), (E).

# 5. Further references.

- [86] P. GOMBÁS: *Die statistische Theorie des Atoms und ihre Anwendungen* (Wien, 1949), (G).
- [87] P. GOMBÁS and R. GÁSPÁR: *Solution of the Thomas-Fermi-Dirac equation*, in *Nature*, **168**, 122 (1951), (E).
- [88] R. GÁSPÁR: *An analytical method for the approximate determination of the eigenfunctions and energies of electrons in atoms*, in *J. Chem. Phys.*, **20**, 1863 (1952), (E).
- [89] P. GOMBÁS: *On the statistical theory of atomic nuclei*, in *Ann. der Phys.*, **10**, 253 (1952), (G).
- [90] P. GOMBÁS: *Statistical theory of atomic nuclei*, in *Nature*, **170**, 362 (1952), (E).
- [91] P. GOMBÁS: *Further development of the statistical theory of atomic nuclei*, in *Ann. der Phys.*, **12**, 155 (1953), (G).
- [92] P. GOMBÁS: *Difference between the density distribution of neutrons and protons in atomic nuclei*, in *Nature*, **171**, 979 (1953), (E).
- [93] G. MARX: *On the dilational oscillations of nuclei*, in *Naturwissenschaften*, **39**, 476 (1952), (G).
- [94] J. I. HORVÁTH: *On the calculation of the polarization energy of hydrogen halide molecules*, in *Zeits. f. Phys.*, **132**, 565-568 (1952), (G).
- [95] I. KOVÁCS and Á. BUDÓ: *Investigations on the blue bands of the SrO molecule*, in *Ann. der Phys.*, **12**, 17 (1953), (G).
- [96] A. BARDÓCZ: *Electronically controlled A.C. interrupted arc source for spectrographic purposes*, in *J. Opt. Soc. Amer.*, **42**, 357 (1952), (E).
- [97] G. SZIGETI and E. NAGY: *Dielectric losses and fluorescence of zinc silicate*, in *Nature*, **160**, 641 (1947), (E).
- [98] L. JÁNOSSY: *Note on the fluctuation problem of cascades*, in *Proc. Phys. Soc.*, A **63**, 241, (1950), (E).
- [99] L. JÁNOSSY: *On the lateral spread of extensive air showers*, in *Proc. Phys. Soc.*, A **63**, 1009 (1950), (E).
- [100] L. JÁNOSSY: *On the physical interpretation of the Lorentz transformation*, in *Ann. der Phys.*, **11**, 293 (1953), (G).
- [101] PH. FRANK: *Einstein, his life and times* (London, 1948), (E). (Passages in English translation on p. 314.)
- [102] L. JÁNOSSY: *The physical aspects of the wave-particle problem of quantum mechanics*, in *Ann. der Phys.*, **11**, 323 (1953), (G).
- [103] G. SZAMOSI: *On the shell structure of nuclei*, I, in *Naturwissenschaften*, **40**, 105 (1953), (G).
- [104] F. KÖRÖSY: *Obituary: Prof. Paul Selényi*, in *Nature*, **173**, 1071 (1954), (E).
- [105] R. EÖTVÖS: *Gesammelte Arbeiten*, edited by P. SELÉNYI (Budapest, 1953).
- [106] F. RIESZ and B. SZ.-NAGY: *Leçons d'analyse fonctionnelle* (Budapest, 1st Ed. 1952, 2nd Ed. 1953), (F).

ABSTRACT  
OF THE INTERNATIONAL SYSTEM  
OF TRANSLITERATION OF CYRILLIC CHARACTERS

(2<sup>ND</sup> DRAFT ISO RECOMMENDATION N. 6)

ADVISED BY THE EDITORIAL BOARD

OF

*IL NUOVO CIMENTO*

Cyrillic Character		Transliteration from :					Examples & Remarks
		Bulg- arian	Russ- ian	Ukrai- nian	White Russ.	Serb- ian	
1.	А, а	a	a	a	a	a	Адрес = Adres
2.	Б, б	b	b	b	b	b	Баба = Baba
3.	В, в	v	v	v	v	v	Вы = Vy
4.	Г, г	g	g	g	g	g	Глава = Glava Голова = Golova
5.	Г, г			ġ	ġ		Греци = Ġreci
6.	Д, д	d	d	d	d	d	Да = Da
7.	ђ, ђ					đ	Croat dj and gj changed to đ in alphabetized headings
8.	Е, е (ë)	e	e(ë)	e	e(ë)	e	Еще = Ešče
9.	Е, е			je			Твое = Tvoje
10.	Ж, ж	ž	ž	ž	ž	ž	Журнал = Žurnal
11.	З, з	z	z	z	z	z	Звезда = Zvezda
12.	С, с						(not used)
13.	И, и	i	i	y	i		Или = Ili
14.	І, і		i	i	i	i	
15.	Ї, ї			ï			Їзда = Izda
16.	Ј, ј					j	
17.	Й, ѣ	j	j	j	j	j	-ый, -ий, -ой = -yj, -ij, -oj
18.	К, к	k	k	k	k	k	Как = Kak
19.	Л, л	l	l	ll	l	l	Любить = Ljubit'
20.	Љ, љ					lj	
21.	М, м	m	m	m	m	m	Муж = Muž
22.	Н, н	n	n	n	n	n	Нижний = Nižnij
23.	Њ, њ					nj	
24.	О, о	o	o	o	o	o	Общество = Obščestvo

(\*) Cyrillic ë to be transliterated by ë only when diacritical appears in the original.

Cyrillic Character		Transliteration from :					Examples & Remarks
		Bulg- arian	Russ- ian	Ukrai- nian	White Russ	Serb- ian	
25.	П, п	p	p	p	p	p	Первый = Pervyj
26.	Р, р	r	r	r	r	r	Рыба = Ryba
27.	С, с	s	s	s	s	s	Сестра = Sestra
28.	Т, т	t	t	t	t	t	Товарищ = Tovarišč
29.	Ѣ, ѣ					ć	
30.	У, у	u	u	u	u	u	Утро = Utro
31.	Ф, ф	f	f	f	f	f	Физика = Fizika
32 <sup>x</sup> .	Х, х	h	h	h	h	h	Химический = Himičeski j
33.	Ц, ц	c	c	c	c	c	Центральный = Central'ny j
34.	Ч, ч	č	č	č	č	č	Часы = Časy
35.	Џ, џ					dž	
36.	Ш, ш	š	š	š	š	š	Школа = Škola
37.	Щ, щ	št	šč	šč	šč		Щека = Ščeka
38.	(medial) Ѣ, ѣ	ǣ	"or"	"or"	"or"		In modern Russian, where ' replaces medial Ѣ, transliteration is still ' '.
	(final)	ǣ	Not transliterated				
39.	Ы, ы	y	y				Был = Byl
40.	Ь, ь	or'	'or'	'or'	'or'		Маленький = Malen'ki j
41.	Ѣ, ѣ	ě	ě	ě	ě		Ѣсть = Ěst'
42.	Ѣ, ѣ		ě		ě		Это = Ěto
43.	Ю, ю	ju	ju	ju	ju		Южный = Južny j
44.	Я, я	ja	ja	ja	ja		Яйцо = Jajco

(x) Countries with a firmly established tradition in favour of ch or kh may use whichever of these two is the more appropriate, provided that, in catalogues, indexes etc. containing the variant, permanent cross-references are made to and from the h.

#### Added by the Editorial Board of *Il Nuovo Cimento*

In the Reviews published in *Il Nuovo Cimento* x is transliterated into h. Place names commonly transcribed into another language (e.g. Moscow in English) can be retained in their traditional form.





## Errata-Corrige.

Owing to a regrettable omission in sending proofs to the author, in the articles of Dr. A. L. MACKAY:

- (I) *Recent Soviet Work in the Field of Crystallography*,  
 (II) *Crystallography in Eastern Europe*,

published in the n. 4 of *Supplemento* to Vol. X, Series IX, 1953, of *Il Nuovo Cimento*, respectively at pag. 387 and pag. 415, several errors have been left of which hereafter the correction is given, with our apologies to author and readers.

## Article (I)

	ERRATA	CORRIGE
p. 387	Contents	<b>Aknowledgements</b>
» 393	Fig. 2	Adjusting
	Syphon	Sylphon
» 395	riga 2	textures
» »	38	oxides
» 397	6	synthetic
» 398	5	Al-Al <sub>2</sub> CuMg
<i>Bibliography</i>		
[1]	Transations	Transactions
[7]	Lomonosovskogo	Lomonosovskogo
	n. 9 (1935)	n. 6 (1935)
[18]	BARETT	BARRETT
[45]	article	articles
[59]	SSSR, 825	SSSR, 81, 825
[62]	Nak	Nauk
	C 1953)	(1953)
[64]	Zerar	Žerar
[69]	2-methody-7-aminofluorenone	2-methoxy-7-aminofluorenone
[71]	naphthalene	naphthalene
[80]	morphology	morphotropy
[81]	HgCl <sub>2</sub> -coumarine	HgCl <sub>2</sub> -coumarine
	HgBr <sub>2</sub> -marine	HgBr <sub>2</sub> -coumarine
[95]	1,5-naphthaldiamine	1,5-naphthyldiamine
[99]	morphotrophy	morphotropy
[104]	Crystals	Crystal
	742	743
[105]	27, n. 1, 106	27, 106
[107]	7896	6896
[114]	principle	principles

## ERRATA

[143]	<i>electronographie</i>
[144]	<i>electronographie</i>
[145]	<i>th esposition</i>
[153]	1593
[158, 219-222]	CINSERLING
[163]	<i>neighboring</i>
[168]	(1952)
[178]	<i>X-rays</i>
[185]	(1951)
[188]	<i>Akad.</i>
[190]	<i>isomerims</i>
[200]	KITAKGORODSKIJ
[213]	<i>into</i>
[216]	<i>fo</i>
[218]	<i>suplhide</i>
[225]	STARČEV
[234]	<i>kinetic</i>
[245]	<i>wells</i>
[263]	N. D. NESTEROVA
[264]	<i>elctron</i>
	31
[267]	<i>sustenite</i>
[270-2]	JA. A. BAGARJACKIJ
[298]	<i>transformationsin</i>
[301]	ROVINSKIJ
F9.	<i>X-ray</i>

## CORRIGE

<i>electronographic</i>
<i>electronography</i>
<i>the position</i>
1953
CINZERLING
<i>neighbouring</i>
(1952) [SA 1199, 1953]
<i>X-ray</i>
(1952)
<i>Akad.</i>
<i>isomerism</i>
KITAJGORODSKIJ
<i>onto</i>
<i>of</i>
<i>sulphide</i>
STARCEV
<i>kinetics</i>
<i>walls</i>
M. D. NESTEROVA
<i>electron</i>
31
<i>austenite</i>
JU. A. BAGARJACKIJ
<i>transformations in</i>
ROVINSKIJ
<i>X-rays</i>

In references [111-114], [124-5], [128-9], [131], [135], [177], [194]

*Zap. Lab.*

*Zav. Lab.*

## Article (II)

p. 415, riga 6      contrastred  
                   » 14      periodical

contrasted  
 periodicals.



# INDICE DEL SUPPLEMENTO

AL VOLUME I, SERIE X, DEL

NUOVO CIMENTO

Anno 1955

---

R. FIESCHI - Thermodynamical Theory of Galvanomagnetic and Thermomagnetic Phenomena . . . . .	pag. 1
D. BOHM, R. SCHILLER and J. TIOMNO - A Causal Interpretation of the Pauli Equation (A) . . . . .	» 48
D. BOHM, R. SCHILLER and J. TIOMNO - A Causal Interpretation of the Pauli Equation (B) . . . . .	» 67
Rendiconti del Convegno di Fisica dei Solidi e dei Liquidi, tenutosi a Villa Monastero, a Varenna, dal 5 al 7 Giugno 1954 . . . . .	» 93
Étude de mésons lourds à l'arrêt dans les émulsions photographiques (Laboratoire de Physique de l'École Polytechnique - Paris) . . . . .	» 169
Rassegne di lavori di Fisica pubblicati negli ultimi anni in Europa orientale e particolarmente in Russia . . . . .	» 245
Abstract of the International System of Transliteration of Cyrillic Characters . . . . .	» 387
A. L. MACKAY - Errata-Corrige . . . . .	» 390

---

Fine del *Supplemento* al Volume I, Serie X,  
del *Nuovo Cimento*, 1955

---



---

PROPRIETÀ LETTERARIA RISERVATA

---